

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

ÉRIKA WATANABE

**INFLUÊNCIA DAS PROTEÍNAS FORMADORAS DO GLÚTEN NA
QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA DE TRIGO PARA
PANIFICAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2014

ÉRIKA WATANABE

**INFLUÊNCIA DAS PROTEÍNAS FORMADORAS DO GLÚTEN NA
QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA DE TRIGO PARA
PANIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Ma. Natália Vicente de Rezende Mudenuti

Coorientador: Dr. Klever Márcio Antunes Arruda

Coorientadora: Dr^a. Maria Brígida Santos Scholz

LONDRINA
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

INFLUÊNCIA DAS PROTEÍNAS FORMADORAS DO GLÚTEN NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA DE TRIGO PARA PANIFICAÇÃO

ÉRIKA WATANABE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 04/12/2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Natália Vicente de Rezende Mudenuti
Prof.^a Orientadora

Prof.^a Dr.^a Caroline Maria Calliari
Membro titular

Prof.^a Dr.^a Isabel Craveiro Moreira
Membro titular

Dedico este trabalho à minha família, pelo
apoio e cooperação incondicional.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Primeiramente agradeço à Deus pela presença constante em minha vida.

Agradeço especialmente à minha família, pelo apoio, carinho e compreensão, pois sem eles, seria muito difícil vencer esse desafio.

À minha orientadora, Prof^a. Ma. Natália Vicente de Rezende Mudenuti e aos meus coorientadores, Dr. Klever Márcio Antunes Arruda e Dr.^a Maria Brígida Santos Scholz, pesquisadores do IAPAR, pela sabedoria com que me guiaram nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala, que compartilharam dos mesmos sonhos e expectativas, em especial, Ana Carolina da Silva José, Gabriela Barros Silvério e Marcelo Zuchi Sanches.

A todos os professores, pelo aprendizado e amizade.

À professora Ma. Gisselma Batista, pelo conhecimento adquirido e pelo incentivo.

Ao Dr. Luís Alberto Cogrossi Campos, pesquisador do IAPAR pelo apoio e conhecimento compartilhado.

Ao IAPAR, pela disponibilização dos materiais e laboratórios para a realização dos ensaios.

Ao CNPQ e Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

Aos funcionários dos laboratórios de Biotecnologia Vegetal e Fisiologia Vegetal do IAPAR, em especial, ao senhor Ovídeo e Isabel.

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe
tudo. Todos nós sabemos alguma coisa.
Todos nós ignoramos alguma coisa. Por
isso aprendemos sempre.”

Paulo Freire

RESUMO

WATANABE, Érika. **INFLUÊNCIA DAS PROTEÍNAS FORMADORAS DO GLÚTEN NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA DE TRIGO PARA PANIFICAÇÃO**. 2014. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

As propriedades tecnológicas da farinha de trigo definem sua aptidão para os diferentes segmentos industriais e são determinadas, principalmente, pelo teor e qualidade das proteínas formadoras do glúten, gluteninas e gliadinas. Sabendo-se que a composição de tais proteínas é controlada geneticamente, há grande interesse em identificar as subunidades de gluteninas de alto e baixo peso molecular (HMW-GS e LMW-GS) e ω -gliadinas responsáveis pela qualidade de uso final da farinha, com o propósito de combiná-los em novas cultivares por meio do melhoramento genético. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das proteínas formadoras do glúten na qualidade tecnológica da farinha de trigo para panificação. Nesse sentido, quinze genótipos provenientes do Programa de Melhoramento Genético de Trigo do IAPAR foram caracterizados quanto à composição de subunidades de HWS-GS, LWS-GS e ω -gliadinas. Paralelamente, a qualidade dos grãos e farinhas foi avaliada por meio de testes físicos, físico-químicos, reológicos e de panificação e os resultados correlacionados com a presença de subunidades específicas de proteínas formadoras do glúten. Verificou-se que a subunidade 2* codificada pelo loco *Glu-A1* em HMW-GS, exerceu maior influência positiva sobre o volume de sedimentação e teor de proteínas que a subunidade 1. Nos locos *Glu-B1* e *Glu-D1*, a combinação das subunidades 17+18 e 5+10 resultou em maior absorção de água, tempo de desenvolvimento e estabilidade da massa, enquanto as combinações 2*, 7+8 e 5+10 e 2*, 17+18 e 5+10 correlacionaram-se ao maior volume específico dos pães. Para o loco *Glu-A3* de LMW-GS, a subunidade c apresentou associação positiva com o volume de sedimentação. Além disso, as cultivares BRS Gaivota, BRS Gralha Azul, BRS Sabiá e BRS Tangará apresentaram translocação de centeio do tipo 1A/1R, responsável pelos reduzidos tempos de desenvolvimento e estabilidade da massa formada por suas farinhas. Com o estudo, foi possível observar que os parâmetros avaliados são influenciados fortemente não só pelas subunidades de HMW-GS, LMW-GS e ω -gliadinas presentes, mas também pelas combinações entre elas.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. Gluteninas. Gliadinas. Textura. Análise de imagem.

ABSTRACT

WATANABE, Erika. **Influence of gluten proteins on baking quality of wheat flour.** 2014. 81s. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Federal Technology University - Parana. Londrina, 2014.

The technological properties of wheat flour define their suitability for different industries and are determined by the content and quality of the gluten proteins, glutenins and gliadins. Knowing that the composition of these proteins is controlled genetically, there is great interest in identifying the glutenin subunits of high and low molecular weight glutenins (HMW-GS and LMW-GS) and ω -gliadins responsible for end-use quality of flour, in order to combine them into new cultivars through breeding. The objective of this study was to evaluate the influence of gluten proteins in the technological quality of bread wheat. Thus, fifteen genotypes belonging to the breeding program of wheat from IAPAR were characterized by the subunit composition of HWS-GS, LWS-GS and ω -gliadins. At the same time, the quality of grain and flour were evaluated by physical, physico-chemical, rheological and baking tests and the results correlated with the presence of specific subunits of gluten protein. It was found that 2* subunit, encoded by locus *Glu-A1* of HMW-GS demonstrated stronger positive influence on the sedimentation volume and protein content compared of the subunit 1. In loci *Glu-B1* and *Glu-D1*, the combination of subunits 17 + 18 and 5+10 resulted in higher water absorption, development time and stability of the dough, while combinations 2*; 7 + 8; 5 + 10 e 2*; 17 + 18 ; 5+10 correlated the higher specific volume of breads. For locus *Glu-A3* of LMW-GS, subunit c was positively correlated with the volume of sedimentation. In addition, BRS Gralha Azul, BRS Sabiá e BRS Tangará showed translocation of rye, 1A / 1R, responsible for reduced the development time and stability of the mass formed by their flours. With this study, was possible to observe that the evaluated parameters are strongly influenced not only by the subunits of HMW-GS, LMW-GS and ω -gliadins present, but also the combinations between them.

Keywords: *Triticum Aestivum*. Glutenins. Gliadins. Texture. Image analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do grão de trigo.....	14
Figura 2 – Representação das subunidades de HMW-GS	24
Figura 3 – Representação das subunidades de LMW-GS.....	25
Figura 4 – Representação das subunidades de ω -gliadinas.....	25
Figura 5 – Imagem da estrutura do miolo dos pães.....	58
Figura 6 – Gel de subunidades de HMW-GS e LMW-GS.....	63
Figura 7 – Gel de subunidades de ω -gliadinas.....	63
Figura 8 – Análise de componentes principais.....	67

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Instrumento de medição do volume dos pães.....	37
Fotografia 2 – Medição da firmeza dos pães	38
Fotografia 3 – Pães elaborados a partir da farinha dos quinze genótipos.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Subunidades de HMW-GS.....	20
Tabela 2 – Características das diferentes classes de trigo.....	21
Tabela 3 – Subunidades de HMW-GS e seus escores.....	23
Tabela 4 – Formulação da massa para o teste de panificação.....	36
Tabela 5 – Teor de umidade dos grãos e farinhas.....	43
Tabela 6 – Teor de proteínas em base seca e volume de sedimentação.....	44
Tabela 7 – Correlação das características dos genótipos e das farinhas.....	46
Tabela 8 – Rendimento da farinha de quebra, farinha de redução e taxa de extração.....	47
Tabela 9 – Cor da farinha.....	49
Tabela 10 – CRS das farinhas	51
Tabela 11 – Análise farinográfica.....	53
Tabela 12 – Volume específico, textura e tamanho médio de poros.....	56
Tabela 13 – Avaliação da cor da crosta dos pães.....	60
Tabela 14 – Avaliação da cor do miolo dos pães.....	61
Tabela 15 – Caracterização dos genótipos quanto às subunidades de HMW-GS, LMW-GS, ω -gliadinas, translocação de centeio e escore total.....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	12
3 TRIGO E SUAS CARACTERÍSTICAS	13
3.1 ESTRUTURA DO GRÃO.....	13
3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	15
3.2.1 Umidade.....	15
3.2.2 Lipídios.....	16
3.2.3 Minerais.....	16
3.2.4 Amido.....	16
3.2.5 Proteínas.....	17
3.3 GENÉTICA DO TRIGO.....	19
3.4 PROCESSAMENTO DO TRIGO.....	20
3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS GRÃOS E FARINHA DE TRIGO.....	21
3.5.1 Conteúdo proteico.....	22
3.5.2 Umidade.....	26
3.5.3 Cor.....	27
3.5.4 Volume de sedimentação.....	27
3.5.5 Capacidade de retenção de solventes.....	27
3.5.6 Farinografia.....	28
3.6 PANIFICAÇÃO.....	28
3.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PÃES.....	30
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
4.1 MATERIAIS.....	32
4.2 MÉTODOS.....	32
4.2.1 Teor de umidade.....	33
4.2.2 Teor de proteínas.....	33
4.2.3 Volume de sedimentação.....	33
4.2.4 Condicionamento à moagem.....	34
4.2.5 Moagem experimental.....	34
4.2.6 Capacidade de retenção de solventes	35
4.2.7 Farinografia.....	35
4.2.8 Cor.....	35
4.2.9 Teste de panificação.....	36
4.2.10 Volume específico.....	37
4.2.11 Textura.....	38

4.2.12 Análise da estrutura por imagem.....	39
4.2.13 Extração de gluteninas e gliadinas.....	39
4.2.14 Eletroforese (SDS-PAGE).....	40
4.2.15 Identificação das subunidades proteicas.....	40
4.2.16 Análise estatística.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS GRÃOS E FARINHAS.....	42
5.1.1 Umidade.....	42
5.1.2 Teor de proteínas.....	43
5.1.3 Volume de sedimentação.....	45
5.1.4 Moagem.....	47
5.1.5 Cor da farinha.....	48
5.2 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DA FARINHAS.....	50
5.2.1 Capacidade de retenção de solventes.....	50
5.2.2 Farinografia.....	51
5.3 AVALIAÇÃO DOS PÃES.....	52
5.3.1 Volume específico.....	55
5.3.2 Textura.....	56
5.3.3 Análise da estrutura por imagem.....	57
5.3.4 Cor da crosta e do miolo.....	59
5.4 CARACTERIZAÇÃO DAS SUBUNIDADES DE HMW-GS, LMW-GS E ω -GLIADINAS.....	62
5.4.1 INFLUÊNCIA DAS SUBUNIDADES DE HMW-GS, LMW-GS E ω -GLIADINAS.....	64
6 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

O trigo foi uma das primeiras culturas a ser domesticada, há cerca de 10.000 anos atrás e devido à sua capacidade de ser processado para uma ampla gama de produtos alimentícios, tornou-se uma das principais culturas agrícolas do mundo. Atualmente, este é o terceiro cereal mais produzido no planeta, após o milho e o arroz, e o segundo em termos de consumo alimentar, dado o uso mais extensivo do milho como ração animal (FAO, 2013).

Estimativas da Associação Brasileira de Trigo (ABITRIGO, 2014), revelam que aproximadamente 90% do suprimento nacional de trigo são destinados ao processamento industrial. Ainda de acordo com estas estimativas, a farinha obtida do processamento tem os seguintes usos: 55% são destinadas ao setor de panificação; 17% são consumidas no fabrico de massas; 13% são usadas para fabricar biscoitos; 11% tem uso doméstico e o restante é destinado a outros segmentos.

Verifica-se, portanto, que a aplicação primordial da farinha de trigo é a fabricação de pães em escala comercial. Essa aptidão do trigo para a panificação deve-se ao fato de que dentre as farinhas de cereais, apenas a do trigo comum, *Triticum aestivum* L., possui a propriedade de formação do complexo denominado glúten em quantidade e qualidade adequadas para tal finalidade. O glúten consiste em uma rede elástica e contínua, capaz de reter o gás carbônico liberado durante o processo de fermentação da massa pelas leveduras, permitindo sua expansão. Essa particularidade é determinante para as propriedades reológicas da massa e, por conseguinte, para as características finais dos produtos panificados.

Proteínas de reserva do trigo, especificamente gliadinas e gluteninas, são os principais componentes do glúten. Quando a farinha de trigo é hidratada e submetida a uma força mecânica, as gliadinas conferem extensibilidade e viscosidade à massa formada, enquanto as gluteninas são responsáveis pela força, elasticidade e tempo de desenvolvimento. O glúten, conseqüentemente, possui características singulares para a panificação, que combinam os dois componentes (ESTELLER, 2004; MATUDA, 2008).

Estudos associam o perfil de proteínas formadoras do glúten ao perfil tecnológico de cultivares, estabelecendo diversas subunidades correlacionadas com características que determinam a qualidade de uso final do trigo. Sabendo-se que a composição específica de tais proteínas é determinada geneticamente, há um grande interesse em identificar as subunidades responsáveis pelo potencial de panificação, a fim de poder combiná-las em novas cultivares, por meio do melhoramento genético.

Tal estratégia permitirá agregar valor de mercado ao cereal, uma vez que as variedades melhoradas geneticamente terão a capacidade de originar farinhas específicas para panificação, proporcionando aos produtos finais atributos de crescimento, textura, sabor e coloração desejados, além de adequação ao processo mecânico de preparo (MITTELMANN et al., 2000).

2 OBJETIVOS

Avaliar a influência das proteínas formadoras do glúten na qualidade tecnológica de panificação de quinze genótipos de trigo (cultivares), participantes do bloco de cruzamentos do programa de melhoramento genético do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR).

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efetuar a moagem dos grãos para obtenção da farinha e verificar o rendimento de cada genótipo;
- Caracterizar os genótipos de trigo, por eletroforese (SDS-PAGE), quanto à composição de subunidades de proteínas formadoras do glúten: gluteninas de alto e baixo peso molecular e subunidades de ω -gliadinas;
- Caracterizar as farinhas obtidas através de testes físico-químicos (colorimetria, teor de proteínas, volume de sedimentação, capacidade de retenção de solventes e farinografia);
- Avaliar o volume, cor, textura e estrutura do miolo dos pães através da panificação experimental;
- Verificar a correlação entre as variáveis em estudo.

3 TRIGO E SUAS CARACTERÍSTICAS

O termo trigo é aplicado a todos os cereais pertencentes ao gênero *Triticum*, tanto cultivados como silvestres (PALLARÉS; LÉON; ROSELL, 2007). Conforme o número de cromossomos é classificado em: *Triticum monococcum*, espécie diploide, com 14 cromossomos; *Triticum durum*, tetraploide, com 28 cromossomos e *Triticum aestivum*, hexaploide, com 42 cromossomos, este último, o trigo comum (POPPER; SCHÄFER; FREUND, 2006).

Segundo Fernandes (2000) achados arqueológicos indicam que este teria sido o segundo grão cultivado pelo homem, após a cevada. Esse mesmo autor cita o trigo como a cultura responsável pelo desenvolvimento da civilização ocidental, pois a capacidade de armazenar as sementes permitiu ao homem abandonar a caça e a coleta, fixando-se em povoados e construindo cidades, desenvolvendo as profissões, as artes e as ciências. Posner (2000) afirma que o trigo também foi um dos primeiros cereais utilizados para o processamento de alimentos, devido ao seu perfil nutritivo e facilidades no processamento, colheita, armazenagem e transporte, quando comparado a outros cereais.

As linhagens de trigo evoluíram a partir de cruzamentos naturais que ocorreram nas lavouras entre espécies ancestrais e inços. Inconscientemente, quando o agricultor primitivo escolheu as melhores sementes para plantio da próxima safra, iniciou o melhoramento genético de plantas cultivadas. A principal espécie cultivada atualmente é o *Triticum aestivum* L., do qual são conhecidas mais de 20 mil variedades (FERNANDES, 2000).

3.1 ESTRUTURA DO GRÃO

Existem diferenças na morfologia dos grãos de trigo em função das diferentes variedades e condições de plantio do cereal. Seu formato geralmente é oval, com extremidades arredondadas e o tamanho e cor são variáveis (POSNER, 2000).

Segundo Hoseneý (1991), estruturalmente o grão de trigo possui semente única: é um cariópside com 6 a 8 milímetros de comprimento e 3 a 4 milímetros de largura. Em uma extremidade encontra-se o gérmen e na outra, os tricomas. Ao longo de praticamente toda sua extensão longitudinal (lado ventral), observa-se a presença de um sulco, conhecido como “crease”. A presença deste dificulta a extração da farinha apenas pelo processo abrasivo, sendo necessário realizar sucessivas triturações para eliminar as camadas externas ao endosperma (HOSENEY, 1991).

De acordo com Quaglia (1991), o grão de trigo é constituído, basicamente, por pericarpo (7,8 a 8,6%), endosperma (87 a 89%) e gérmen (2,8 a 3,5%), conforme representado na figura 1. O pericarpo é rico em fibras e sais minerais, constituindo a camada mais externa e protetora do grão (ATWELL, 2001). O endosperma constitui uma matriz proteica, no qual grânulos de amido estão inseridos, ou seja, o endosperma constitui a farinha de trigo branca propriamente dita. Por fim, o gérmen constitui a parte embrionária da planta, onde se encontram os lipídeos e os compostos fundamentais à germinação do grão (ATWELL, 2001; HADDAD et al., 2001).

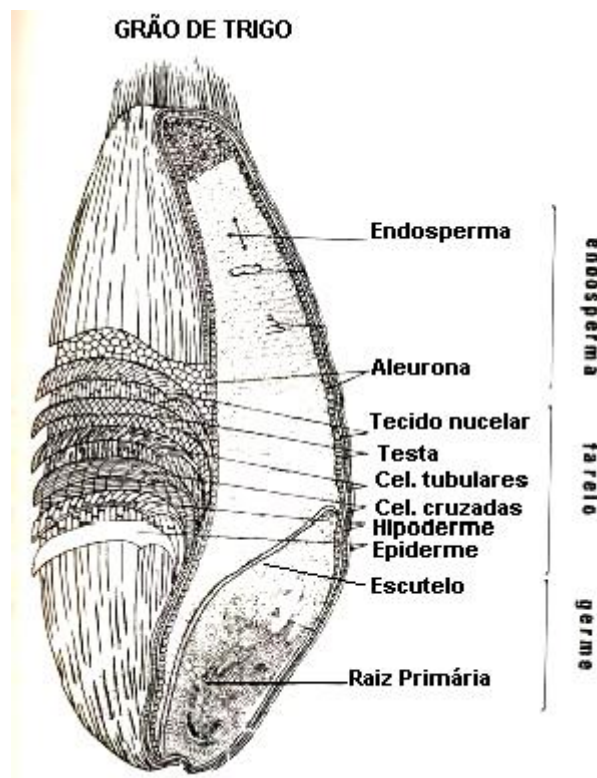


Figura 1 - Estrutura do grão de trigo.
Fonte: HOSENEY, 1991.

3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

De acordo com Mousia et al. (2004), a composição química do grão de trigo afeta suas características funcionais e tecnológicas e, somada às propriedades estruturais e a população microbiana, define a qualidade da farinha de trigo. Portanto, para a compreensão do comportamento do trigo e da farinha nos processos tecnológicos (moagem, armazenamento e processamento) é importante conhecer os seus principais constituintes: água, lipídios, minerais, amido e proteínas.

3.2.1 Umidade

Conforme Silva et al. (2014), o teor de umidade corresponde à relação entre a quantidade de água e o peso da massa total de uma quantidade de grãos. Para a perfeita conservação dos cereais é necessário reduzir a umidade a níveis que inibam as reações do seu metabolismo (respiração e transpiração), atividade enzimática e crescimento microbiano. Desta forma, os grãos secos e sadios podem ser armazenados por longos períodos, enquanto os grãos úmidos se deterioram rapidamente (MCKEVITH, 2004).

A Legislação Brasileira (BRASIL, 2001) recomenda que a umidade dos grãos de trigo não ultrapassem 13%, enquanto que a da farinha de trigo não deve ser superior a 15% (BRASIL, 2005).

A manutenção da umidade dentro dos níveis recomendados é importante não só para a conservação durante o período de armazenamento, mas também economicamente, uma vez que o trigo e a farinha são comercializados em base úmida. Além disso, a umidade também exerce influência direta nas características tecnológicas e no rendimento de moagem (GUTKOSKI, 2009).

3.2.2 Lipídios

O teor de lipídios nos grãos de trigo é pequeno, variando de 1,5 a 2% (QUAGLIA, 1991). Zardo (2010) relata que os lipídeos encontram-se dispersos por toda a estrutura do grão de trigo, constituindo grande parte do gérmen, além de estarem presentes também no pericarpo e semente. O mesmo autor afirma que assim como ocorre nos demais cereais, o ácido palmítico, o ácido oleico e o ácido linoleico são os mais abundantes.

3.2.3 Minerais

De acordo com Bock (2000), o trigo apresenta em sua composição aproximadamente 410mg de fósforo, 580 mg de potássio, 60 mg de cálcio, 180 mg de magnésio, 6 mg de ferro, 0,8 mg de cobre, 5,5 mg de manganês, 4,4 mg de zinco e 4,6 mg de sódio /100g de trigo, em base seca.

A composição mineral (cinzas) é um importante critério de qualidade da farinha de trigo, indicando a eficiência do processo de moagem, uma vez que a maior concentração de minerais situa-se na parte externa do grão (no farelo), e, portanto, quanto maior a quantidade de farelo na farinha, maior será o teor de cinzas resultante (GUARIENTI, 1996; RASPER; WALKER, 2000).

3.2.4 Amido

O amido é o principal polissacarídeo presente no trigo, correspondendo entre 65 e 70% do peso seco do grão (MORELL et al. 1995). Segundo Rahman et al. (2000) o amido é constituído por dois tipos de polissacarídeos: a amilose, molécula composta por cadeia linear e que corresponde a 25% do amido presente nos grãos e a amilopectina, molécula de cadeia ramificada, que constitui os 75% restantes.

Gutkoski (2009) afirma que no processo de panificação geralmente é enfatizada a importância ao glúten, dando a impressão de que o amido é apenas um coadjuvante dentro da estrutura protéica. Porém, o mesmo autor explica que o amido tem importantes funções na elaboração dos pães, em virtude das transformações que ocorrem em sua estrutura por meio da gelatinização e retrogradação, que irão influenciar no volume final dos produtos panificados e na sua tendência ao endurecimento.

3.2.5 Proteínas

As proteínas são consideradas determinantes para a qualidade e valor comercial do trigo, representando entre 10 e 18% do peso dos grãos em base seca (BELDEROK; MESDAG; DONNER, 2000).

As proteínas totais do trigo dividem-se em proteínas solúveis (albuminas e globulinas) e proteínas de reserva formadoras do glúten (gliadinas e gluteninas). As albuminas e globulinas constituem aproximadamente 15% das proteínas totais do trigo, sendo classificadas em razão da funcionalidade, como proteínas não formadoras do glúten e encontram-se no gérmen, farelo e aleurona. As proteínas formadoras do glúten, gluteninas e gliadinas representam aproximadamente 85% do total de proteínas, estando presentes basicamente no endosperma (SGARBIERI, 1996; MIRANDA, 2000).

O glúten é formado pelas frações hidratadas de gliadinas, gluteninas e resíduo proteico. Ao promover a hidratação da gliadina, esta produz uma massa fluida e viscosa, enquanto a glutenina forma uma massa extremamente rígida e elástica. A gliadina é coesiva e apresenta alta extensibilidade e baixa elasticidade. Isso equivale a dizer que ela pode ser esticada com a aplicação de uma força, porém apresenta capacidade limitada de retornar à forma inicial quando essa força é suprimida. A glutenina, por outro lado, apesar de também ser coesiva, apresenta baixa extensibilidade e alta elasticidade. É capaz de ser esticada até certo limite, mas retorna rapidamente à sua forma original. O glúten, conseqüentemente, possui as propriedades de ambas as frações, sendo responsável pela estrutura do pão, formando uma rede viscoelástica que retém

os gases formados durante a fermentação da massa pelas leveduras, permitindo sua expansão (ESTELLER, 2004; MATUDA, 2008).

Pode-se verificar, portanto, que a identificação do conteúdo proteico por si só não é suficiente para definir a classificação da qualidade industrial da farinha. A proporção dos grupos de proteínas formadoras do glúten, sujeitas a variações genéticas e de ambiente também interferem na qualidade do produto final, o que faz com que farinhas com quantidades idênticas de proteínas apresentem diferentes padrões de qualidade. Desta forma, farinhas com alta qualidade devem possuir proteínas em quantidade e qualidade adequadas (CARDOSO, 2007).

Além das diferenças nas características viscoelásticas, as gluteninas e as gliadinas diferem entre si em composição e estrutura, sendo classificadas em função da massa molecular e da capacidade de agregação (TORRES, 2008). Enquanto as gliadinas dividem-se em quatro grupos: α -, β -, γ -, e ω -gliadina, as gluteninas são classificadas em dois grupos: alto peso molecular ou high molecular weight glutenins (HMW-GS) e baixo peso molecular ou low molecular weight glutenins (LMW-GS) (WONG, 1995).

As gliadinas têm massa molar média de 40 KDa e são formadas por cadeias polipeptídicas simples (monoméricas), apresentando apenas ligações intramoleculares. Tal conformação confere baixa elasticidade a estas proteínas, que são as responsáveis pela coesividade da massa que formam (HOSENEY, 1994).

As gluteninas, por sua vez, constituem um grupo heterogêneo de proteínas poliméricas formadas por subunidades ligadas entre si por pontes dissulfeto. Quando tratadas com agentes redutores, as pontes se rompem e separam-se em dois grupos de acordo com a sua mobilidade em géis de SDS-PAGE (eletroforese em gel de poliacrilamida na presença de dodecil sulfato de sódio): HWM-GS, com massas molares entre 90 e 140 KDa, e as LMW-GS, entre 40 e 50 KDa (LEW et al., 1992).

3.3 GENÉTICA DO TRIGO

A produção comercial de trigo é baseada principalmente em duas espécies modernas: o trigo hexaploide, *Triticum aestivum*, também conhecido como trigo pão ou comum, e o trigo tetraploide, *Triticum durum* (BRAMMER, et al., 2001).

Dentro do complexo genoma do *Triticum aestivum*, a qualidade de panificação vem sendo associada a diversos genes, dentre eles, os que determinam a composição proteica de gluteninas de alto e baixo peso molecular, gliadinas, presença de translocação de centeio, dureza do grão e locos para características quantitativas (ZHANG et al., 2008).

Conforme abordado anteriormente, as proteínas formadoras do glúten representam 85% das proteínas da farinha de trigo e são as principais responsáveis pela qualidade de panificação do trigo, sendo classificadas em dois grupos: as gluteninas (alto e baixo peso molecular), responsáveis pela elasticidade, e as gliadinas, responsáveis pelas características de viscosidade (BRAMMER, 2000).

Caldeira et al. (2000) relatam que cada proteína é produto de, pelo menos um gene, sem que ocorram modificações pós-traducionais, com exceção da formação de pontes de dissulfeto. Sendo assim, a qualidade tecnológica do trigo é determinada, principalmente, pelas frações das proteínas formadoras do glúten presentes nos grãos, as quais são extremamente influenciadas pelos alelos dos locos que as codificam, sendo de grande importância a identificação desses alelos.

As gluteninas de alto peso molecular (HWM-GS) são codificadas por pares de locos fortemente ligados, localizados no braço longo dos cromossomos 1A, 1B e 1D nos locos *Glu-A1*, *Glu-B1* e *Glu-D1*, respectivamente (PAYNE et al., 1987). Segundo Dias (2010), o loco pareado contém genes que codificam dois tipos de HWM-GS: o gene 'x' que codifica uma subunidade com maior massa molecular e o gene 'y' que codifica outra de menor massa. A nomenclatura dessas subunidades foi estabelecida por Payne e Lawrence (1983), seguindo uma ordem numérica de acordo com a posição das bandas na análise por SDS-PAGE. Porém, conforme novas subunidades foram identificadas, a ordem

numérica foi desaparecendo (ANJUN et al., 2007). Ainda de acordo com Dias (2010), o trigo comum apresenta de 3 a 5 HWM-GS, devido ao silenciamento de certos genes. Numerosos alelos têm sido descritos para cada loco, sendo que *Glu-B1* apresenta maior polimorfismo, com cinco alelos comuns e pelo menos seis alelos raros. *Glu-D1* apresenta dois alelos comuns e quatro alelos raros. *Glu-A1* é o loco menos polimórfico, com apenas três alelos, sendo um deles nulo (Tabela 1). A variação na composição alélica é responsável pelas diferenças genéticas na qualidade de panificação observada entre as cultivares, seja por produzirem maior quantidade de HMW-GS, ou por produzirem subunidades mais efetivas (PAYNE et al., 1984; CALDEIRA et al., 2000).

Tabela 1 - Subunidades de HMW-GS

Loco	Subunidade
<i>Glu-A1</i>	N (Nulo), 1 e 2*
<i>Glu-B1</i>	6+8, 7+8, 7+9, 7, 13+16, 14+15, 13+19, 17+18, 20, 21 e 22
<i>Glu-D1</i>	2+12, 3+12, 4+12, 2+10, 5+10, 2+11, 2.2+12

Fonte: PAYNE et al., 1984

3.4 PROCESSAMENTO DO TRIGO

O principal produto derivado do trigo é a farinha, definida pela legislação brasileira como o produto obtido a partir da espécie *Triticum aestivum* ou de outras espécies do gênero *Triticum* conhecidas (exceto *Triticum durum*), por meio de processo de moagem de trigo beneficiado (BRASIL, 2005).

A moagem dos grãos tem por objetivo separar o endosperma do farelo e gérmen, com o maior rendimento possível de farinha. Inicia-se com o condicionamento ou umidificação dos grãos de trigo até que atinjam umidade em torno de 15 a 16% para facilitar a separação da casca, tornando o endosperma mais macio e o farelo mais elástico e resistente, reduzindo a fragmentação durante a moagem (POMERANZ, 1988).

Durante o processo de moagem, ocorre diminuição gradual do tamanho das partículas, primeiro entre os rolos de quebra, corrugados e posteriormente entre os rolos de redução, lisos (GUTKOSKI, 2009).

Uma importante consequência do processo de moagem é a danificação do amido, o que influencia sensivelmente no volume do pão devido a maior absorção de água. O grau de danos que ocorre no amido é influenciado pela técnica de moagem empregada, a textura dos grãos de trigo e o conteúdo de proteína presente. Trigos de textura dura produzem maior quantidade de amido danificado que a mesma moagem aplicada a grãos de textura macia. Quanto maior a quantidade de proteína, em geral, também maiores são os danos causados ao amido (POMERANZ, 1988).

3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS GRÃOS E FARINHA DE TRIGO

A qualidade dos grãos de trigo é decorrente da qualidade e quantidade de proteínas formadoras do glúten. Tais proteínas estão ligadas ao patrimônio genético da cultivar e são condicionadas por elementos ambientais, além das operações de colheita, secagem e armazenamento (KHATKAR et al., 2002). Quanto à qualidade da farinha de trigo, esta é determinada por fatores inerentes aos grãos que a originaram e também pela tecnologia de moagem utilizada no processamento (PRABHASANKAR; SUDHA; RAO, 2000).

A instrução normativa nº 38 de 2010 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010), classifica o trigo destinado à moagem e a outras finalidades em classes, considerando três parâmetros: Força de glúten, Estabilidade e Número de queda (Tabela 2).

Tabela 2 - Características das diferentes classes de trigo.

Classes	Força de glúten (10^{-4} J)		Estabilidade (min)	Número de Queda (seg)
Melhorador	300	E	14	250
Pão	220	Ou	10	220
Doméstico	160	Ou	6	220
Básico	100	Ou	3	200
Outros Usos	Qualquer		Qualquer	Qualquer

Fonte: BRASIL (2010).

Segundo Rasper e Walker (2000) a qualidade de grãos e farinhas é determinada por características que assumem diferentes significados, dependendo do seu uso ou do tipo de produto final. Os mesmos autores afirmam ainda que tais características são mensuráveis por meio de análises e testes instrumentais específicos, baseados em aspectos físicos, químicos, estimativa da atividade enzimática e propriedades reológicas dos cereais e suas respectivas farinhas.

Nos grãos de trigo a qualidade pode ser avaliada por meio de parâmetros físicos, como peso hectolitro (PH), peso de mil sementes, dureza e cor dos grãos, e físico-químicos, como umidade, cinzas, teor de proteína e número de queda (falling number). Na farinha a qualidade pode ser determinada por parâmetros físico-químicos e reológicos como umidade, cinzas, proteínas, número de queda, teor e força de glúten, absorção de água, propriedade de mistura, além de testes de panificação (GUTKOSKI; NETO, 2002).

Em se tratando de farinhas com boa qualidade para panificação, estas devem possuir força de glúten, número de queda e teores de umidade e cinzas adequados, além de apresentar alta capacidade de absorção de água, coloração clara e boa tolerância ao amassamento (GUTKOSKI, 2009).

3.5.1 Conteúdo proteico

Como abordado anteriormente, as proteínas são consideradas determinantes para a qualidade e valor comercial do trigo. Entretanto, identificar o conteúdo proteico por si só não é suficiente para definir a classificação da qualidade industrial da farinha.

Estudos demonstram que as HWM-GS constituem a classe de proteínas de reserva do trigo com maior influência sobre a qualidade de panificação, sendo as mais pesquisadas em todo o mundo (LIU et al., 2009). Para correlacionar o potencial de panificação com a composição de HMW-GS Payne et al. (1987) criaram um sistema de pontuação que se baseia no volume de sedimentação em SDS e atribui a cada subunidade de HMW-GS um escore que varia de 1 a 4, como apresentado na Tabela 3. De acordo com o referido método, um genótipo

pode apresentar escore mínimo de 4 e máximo de 10 pontos. Porém, caso apresente translocação de centeio, em especial a 1B/1R, deve-se fazer um ajuste do escore, pois esse tipo de translocação ocasiona perda na qualidade de panificação devido ao aumento da viscosidade da massa. Sendo assim, na ocorrência de translocação 1B/1R, para os genótipos que apresentaram escore total entre 8 e 10, subtrai-se 3 pontos; para aqueles com escore total entre 5 e 7, subtrai-se 2 pontos; e para aqueles que apresentaram escore total 4, subtrai-se 1 ponto.

Tabela 3 - Subunidades de HMW-GS e seus escores

.Escore	Loco		
	A1	B1	D1
4	-	-	5+10
3	1	17+18	-
3	2*	14+15	-
3	-	13+16	-
3	-	7+8	-
2	-	7+9	2+12
2	-	-	3+12
1	NULO	20	4+12
1	-	6+8	-
1	-	7	-

Fonte: PAYNE et al., 1987

O método mais utilizado para a caracterização das gluteninas é o SDS-PAGE (Figura 2), técnica baseada na eletroforese em gel de poliacrilamida na presença de dodecil sulfato de sódio (SDS), que permite que as variantes alélicas sejam facilmente detectadas (PARO, 2011).

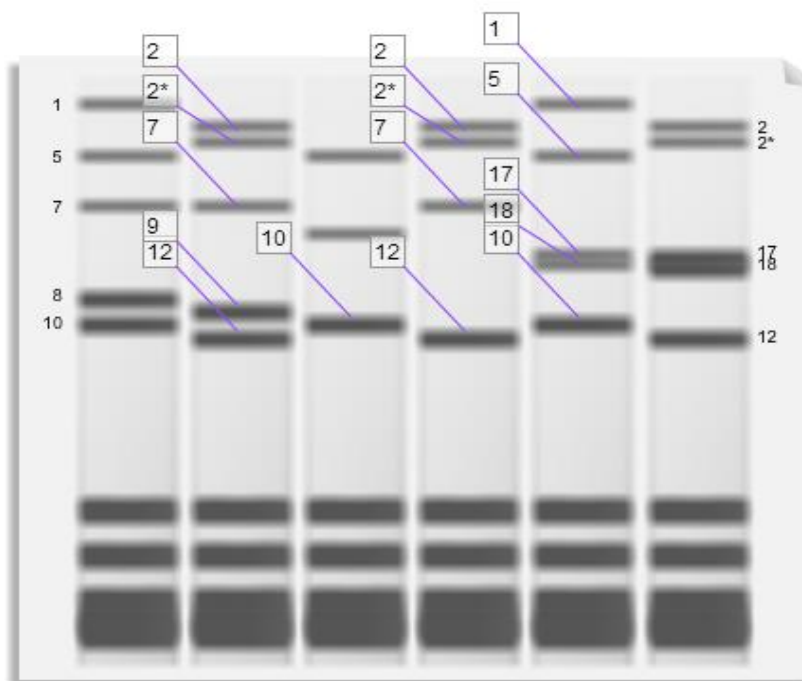


Figura 2 - Representação das subunidades de HMW-GS

Fonte: MAS WHEAT, 2014

As gluteninas de baixo peso molecular (LMW-GS) também são importantes na qualidade de panificação, determinando as propriedades físicas da farinha (ZHANG et al., 2004). São codificadas por genes localizados nos locos *Glu-A3*, *Glu-B3* e *Glu-D3*, nos braços curtos dos cromossomos A1, B1 e D1, próximo ao loco *Gli-1* que codifica as gliadinas. São nomeadas por letras (Figuras 3 e 4) e demonstram variabilidade de acordo com a cultivar analisada (GUPTA; SHEPHERD, 1990; LEW et al., 1992).

Quantitativamente, as LMW-GS são três vezes mais abundantes que as HMW-GS. No entanto, a sua complexidade, heterogeneidade e sobreposição com outros polipeptídios na análise por SDS-PAGE unidimensional, dificultam sua caracterização (BAGULHO, 2008). Por esse motivo, estudos de correlação entre a presença dessas subunidades e a qualidade de panificação são menos frequentes que as HMW-GS, embora técnicas mais complexas como a eletroforese bidimensional, cromatografia líquida de alta eficiência por fase reversa e uso de marcadores genéticos estejam sendo estudadas para uma melhor caracterização dessas subunidades (LIU et al., 2010; GOUTAM et al., 2013).

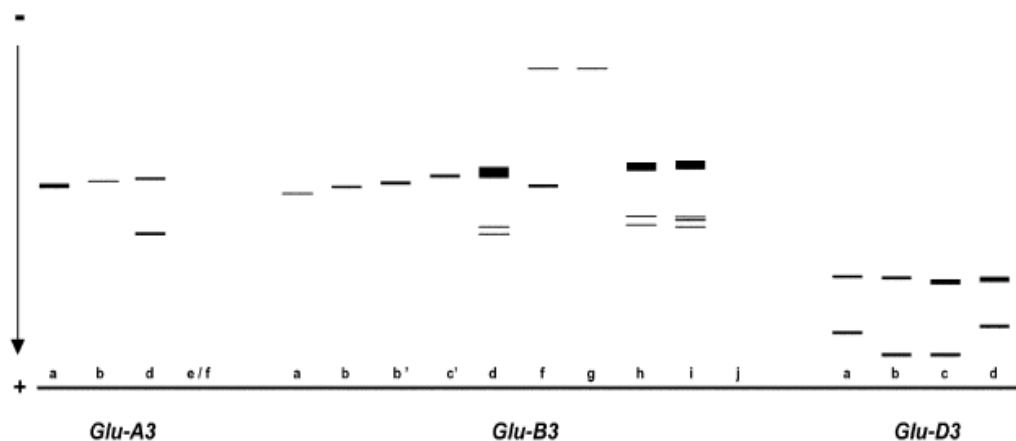


Figura 3 – Representação das subunidades de LMW-GS

Fonte: Branlard et al., 2002

No que diz respeito às gliadinas, estas são monômeros de proteínas codificadas por genes localizados nos braços curtos dos cromossomos do grupo 1 (*Gli-1*) e do grupo 6 (*Gli-2*). O loco *Gli-1* codifica todas as ω -gliadinas, grande parte das γ -gliadinas e algumas β - gliadinas, enquanto o *Gli-2* codifica todas as α -gliadinas, a maior parte das β -gliadinas e algumas γ -gliadinas (PAYNE, 1987).

Sozinov et al. (1974) foram os pioneiros em estudos a cerca de gliadinas, revelando a influência de alguns blocos das mesmas nos valores de sedimentação de trigos para pão, através de modificações no teste Zeleny. Após essa descoberta, muitas pesquisas têm sido realizadas para correlacionar a presença de alelos específicos de gliadina com a qualidade tecnológica dos grãos.

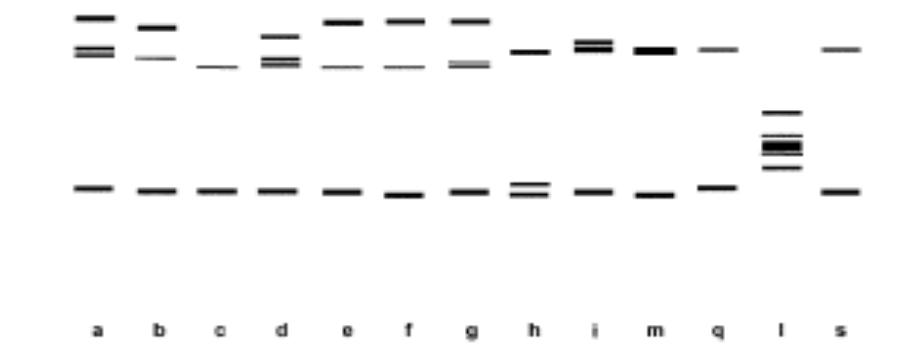


Figura 4 – Representação das subunidades de ω -gliadinas

Fonte: Branlard et al., 2003

Outro fator a ser considerado na qualidade de panificação do trigo é a presença de translocações de centeio (*Secale cereale* L.). As translocações mais comuns entre as espécies de trigo e centeio são, primeiramente, a 1BL/1RS, que envolve o braço longo (L) do cromossomo 1 do genoma B de trigo com o braço curto (S) do cromossomo 1 de centeio (R), e a 1AL/1RS. Tanto a translocação 1BL/1RS quanto a 1AL/1RS têm sido relacionadas a genes de resistência a pragas e doenças, além de outras características agrônomicas favoráveis, como alto desempenho, estabilidade e ampla adaptação. No entanto, a presença destas translocações também está associada a perdas na qualidade de uso final do trigo (KUMLAY et al., 2003; CHAI et al., 2006; DIAS, 2010).

Lelley et al. (2004) apontam a perda dos locos *Glu-B3* e *Gli-B1* como a principal causa da queda de qualidade tecnológica, pois determinam redução no tamanho e na qualidade do macropolímero de glúten, devido à substituição de proteínas poliméricas por monoméricas. Além disso, o braço do cromossomo 1R contém o loco *Sec-1* que codifica dois tipos de proteínas de armazenamento: a ω -*secalin* e a γ -*secalin*, sendo a expressão de ω -*secalins* associada à baixa qualidade, devido à alta capacidade de ligação com a água (LELLEY et al., 2004; CHAI et al., 2005).

3.5.2 Umidade

De acordo com Quaglia (1991) o conteúdo de umidade dos grãos representa um índice comercial significativo, pois influencia em seu peso específico, rendimento de moagem, conservação e características tecnológicas. Para avaliar o teor de umidade, Gutkoski (2009) cita alguns métodos, como o convencional em estufa, baseado na secagem de uma porção de amostra e determinação pela diferença de peso e os métodos rápidos, por meio de infravermelho, condutividade ou espectro de infravermelho próximo (NIR).

3.5.3 Cor

A cor da farinha tem reflexo direto na sua aceitação pelo consumidor. Farinhas mais brancas, embora nem sempre sejam de melhor qualidade, são mais valorizadas (MIRANDA; MORI; LORINI, 2009).

Segundo Gutkoski (2007), a cor é avaliada pelas medidas de luminosidade e intensidade de amarelo, sendo a luminosidade influenciada pelo conteúdo de farelo, e a intensidade de amarelo condicionada pelos pigmentos carotenoides presentes. Para Trono, Pastore e Di Fonzo (1988) a ação da enzima lipoxigenase também exerce influência na cor provocando a oxidação dos carotenoides e tornando a farinha mais branca.

3.5.4 Volume de sedimentação

O teste de sedimentação é uma análise rápida, econômica e que requer pequena quantidade de amostra. Fundamenta-se na insolubilidade e precipitação em meio ácido das proteínas que formam o glúten. A medida do volume de sedimento gerado proporciona uma estimativa da força de glúten da farinha (MANDARINO, 1993; MITTELMANN et al., 2000).

Embora haja influência do ambiente, o volume de sedimentação é fortemente dependente das características genéticas, sendo muito utilizado para a seleção entre progênies de primeira geração (MATUZ, 1998).

3.5.5 Capacidade de retenção de solventes

A Capacidade de retenção de solvente (CRS) é a medida da quantidade de solvente que uma dada farinha é capaz de absorver após homogeneização e centrifugação. É expressa em percentual da massa da farinha corrigida para umidade padrão de 14%. No teste a avaliação é realizada utilizando quatro

solventes: água, sacarose 50%, ácido láctico 5% e carbonato de sódio 5%. A capacidade da farinha em absorver ácido láctico está associada com a quantidade e qualidade das proteínas, principalmente as gluteninas. A retenção de carbonato de sódio tem correlação com o amido danificado, enquanto a sacarose está relacionada com a quantidade de pentosanas e gliadinas. A capacidade de retenção da água pela farinha é influenciada por todos os outros componentes (ZHANG et al., 2007).

3.5.6 Farinografia

A farinografia é um dos mais completos e sensíveis testes para avaliar a qualidade de mistura da massa de farinha de trigo. A análise é feita por meio do farinógrafo, um equipamento que possibilita estimar a qualidade tecnológica da farinha, simulando o processo de mistura, medindo e registrando por meio de um gráfico, a resistência da massa durante os sucessivos estágios de seu desenvolvimento. A análise fornece informações importantes, tais como: absorção de água (ABS); tempo de desenvolvimento da massa (TD); estabilidade (EST) e índice de tolerância à mistura (ITM) (GUARIENTI, 1996; GUTKOSKI, 2009).

3.6 PANIFICAÇÃO

De acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2000), pão é o produto obtido pela cocção de uma massa que pode ser fermentada ou não, elaborada a partir da mistura de água, farinha de trigo e/ou outras farinhas que obrigatoriamente contenham as proteínas formadoras de glúten naturalmente ou adicionadas e demais ingredientes, em condições tecnologicamente adequadas.

A qualidade de panificação é determinada pelas propriedades viscoelásticas da massa de trigo e são resultantes da estrutura e interações das proteínas do glúten (SHEWRY; TATHAM; HALFORD, 1999). Essas

propriedades podem ser avaliadas por meio de análises físico-químicas e reológicas aplicadas tanto aos trigos como às farinhas. No entanto, fornecem uma estimativa da realidade. Em geral, são insuficientes para prever o comportamento real das farinhas durante o processo de panificação (MANARINO, 1993). Por esse motivo, segundo Pallarés, León e Rosell (2007), a maneira ideal para determinar a qualidade de uma farinha para a panificação é justamente produzir o pão dentro de procedimentos padronizados, a fim de avaliar o potencial da farinha no produto final.

O pão pode ser obtido a partir de dois métodos de processamento principais: método direto e indireto. O método indireto ocorre em duas etapas: primeiramente é elaborado um pré-fermento ou esponja, com propósito de permitir a multiplicação do fermento, e após os demais ingredientes são adicionados. Já no método direto, os ingredientes são misturados em uma única etapa, o que o torna um método mais rápido que o indireto, porém que requer mais sova para ativar por completo o fermento (CANELLA-RAWLS, 2005).

De acordo com BOBBIO e BOBBIO (2001), durante a elaboração do pão, a massa sofre transformações que dependem dos ingredientes utilizados. Essas transformações podem ser observadas em três estágios:

- 1) Mistura mecânica dos ingredientes a frio, que proporciona a homogeneização, formação da estrutura do glúten e solubilização dos açúcares. Ainda nesta fase ocorre o aumento do volume devido à fermentação da massa pelas leveduras;

- 2) O segundo estágio corresponde às transformações que ocorrem durante o cozimento da massa, em especial, a desnaturação de proteínas, gelatinização do amido, reação de Maillard, caramelização e redução de água livre. Nessa etapa a estrutura do pão é formada, os aromas característicos são liberados e há desenvolvimento da cor devido à reação de Maillard e caramelização superficial;

- 3) Após o cozimento, ocorre a perda de umidade e consequentemente, o envelhecimento da massa.

3.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PÃES

Conforme El-Dash (1982), a qualidade do pão é avaliada por meio de suas características internas e externas, além do aroma e sabor. Externamente, os atributos de qualidade a serem analisados são o volume, cor da crosta, quebra, simetria e características da crosta. Internamente, a avaliação é feita considerando-se a cor do miolo, estrutura dos alvéolos e textura.

A cor da crosta é influenciada pelo conteúdo de açúcar, atividade de alfa e beta amilase e também por condições inerentes ao processamento, como o tempo de fermentação, tempo e temperatura de assamento (EL DASH, 1982).

Quanto à quebra, consiste na abertura das laterais superiores da massa durante o salto de forno, contribuindo para a boa aparência do pão. A uniformidade da quebra indica que a massa passou por processo adequado de fermentação e forneamento (PYLER, 1988).

Como citado anteriormente, a simetria do pão também é um importante atributo a ser considerado. Manuseio e processamento inadequados podem resultar em pão não simétrico, com laterais encolhidas e extremidades pequenas (EL-DASH CAMARGO, DIAZ, 1986).

Em relação ao miolo, a cor deve ser branca, levemente creme. Os ingredientes adicionados, cor do grão, taxa de extração da farinha e uniformidade e granulosidade das células exercem grande influência sobre esse atributo. O miolo ainda deve ser macio, homogêneo, elástico, sem buracos e com células levemente alongadas e com paredes finas (EL-DASH CAMARGO, DIAZ, 1986).

O aroma do pão, conforme El-Dash Camargo e Diaz (1986), deve ser delicado e típico dos produtos de panificação. Os mesmos autores também mencionam que o pão deve ter gosto adocicado e levemente ácido, devendo ser isento de sabores remanescentes ou estranhos.

No que diz respeito ao volume, este é de grande importância na avaliação da qualidade do pão, uma vez que sofre influência tanto da qualidade dos ingredientes utilizados na formulação, como dos tratamentos usados durante o processamento. Embora um pão com volume elevado seja desejável, quando o volume é excessivo, geralmente o produto apresenta textura fraca e

granulosidade grosseira, características impróprias para um pão de boa qualidade. Por outro lado, um volume muito pequeno indica que não houve desenvolvimento adequado da rede de glúten, que pode ser ocasionado tanto por um conteúdo de glúten fraco como por uma fermentação imprópria (EL-DASH CAMARGO, DIAZ, 1986).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os ensaios foram realizados no período de julho a outubro de 2014. Os testes de panificação foram realizados no Laboratório de Panificação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFRR), câmpus Londrina. As análises de textura foram conduzidas no Laboratório de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina e as demais análises realizadas nos laboratórios de Biotecnologia Vegetal e Fisiologia Vegetal do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), estação experimental de Londrina.

4.1 MATERIAIS

Neste estudo foram utilizadas 15 cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.): BRS Gaivota, BRS Gralha Azul, BRS Guamirim, BRS Pardela, BRS Sabiá, BRS Tangará, IPR Catuara TM, IPR Taquari, IPR 85, IPR 128, IPR 144, CD 104, Fundacep Cristalino, Nitron e Marfim. Esses genótipos foram disponibilizados pelo Programa Cereais de Inverno do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), estação experimental de Londrina – PR.

Os ingredientes utilizados para a panificação experimental foram fermento biológico instantâneo seco (Bakels Switzerland Ltd., Suffolk - Reino Unido), açúcar refinado (Docelar Alimentos e Bebidas S.A., São Paulo – SP), sal refinado (Refinaria Nacional de Sal S.A., Cabo Frio – RJ) e água filtrada, proveniente do sistema municipal de abastecimento.

4.2 MÉTODOS

Os genótipos foram caracterizados quanto à composição de subunidades de gluteninas HMW-GS e LMW-GS e gliadinas presentes no loco *Gli*-B1 utilizando-se a técnica de eletroforese (SDS-PAGE). A avaliação dos

grãos foi realizada por meio da moagem, teor de proteínas, umidade e volume de sedimentação em SDS. A qualidade tecnológica da farinha foi avaliada por meio de ensaios físico-químicos, reológicos e teste de panificação.

4.2.1 Teor de umidade

A Legislação Brasileira (BRASIL, 2001) recomenda que a umidade dos grãos de trigo não ultrapassem 13%, enquanto que a da farinha de trigo não deve ser superior a 15% (BRASIL, 2005).

O conteúdo de umidade dos grãos e farinhas foi determinado pela diferença entre a massa inicial dos grãos e massa após a secagem em estufa, de acordo com o método 44-15A do Approved Methods of the American Association of Cereals Chemists (AACC, 2000).

4.2.2 Teor de proteínas

As proteínas são consideradas determinantes para a qualidade e valor comercial do trigo, representando entre 10 e 18% do peso dos grãos em base seca (BELDEROK; MESDAG; DONNER, 2000).

No presente estudo, o teor de proteínas foi avaliado pelo conteúdo de nitrogênio total segundo o método 46-13 – Método de Kjeldahl – do AACC (2000). O fator 5,7 foi utilizado para expressar os resultados em % de proteína Total.

4.2.3 Volume de Sedimentação

Utilizando uma pequena quantidade de farinha, o volume de sedimentação fornece uma estimativa da força de glúten da farinha. A avaliação

do volume de sedimentação dos genótipos foi realizada de acordo com o método descrito por Dick e Quick (1983).

4.2.4 Condicionamento à moagem

O condicionamento à moagem foi realizado segundo o método nº 16-10 da AACC (2000), com a determinação prévia da umidade dos grãos trigo conforme o método 44-15 (AACC, 2000). A umidade dos grãos foi ajustada para 15,5 % adicionando-se água e deixando os grãos em repouso por 18 horas. A quantidade de água adicionada foi calculada utilizando a equação 1:

$$\text{(Eq. 1) \quad Água adicionada} = \frac{(100 - \text{umidade original (\%)} - 1) \times \text{peso amostra (g)}}{100 - \text{umidade desejada (\%)}}$$

4.2.5 Moagem experimental

A moagem experimental foi conduzida de acordo com o método nº 26-10 da AACC (2000). O processo industrial foi reproduzido em moinho Chopin modelo CD1, para avaliar o percentual de extração da farinha, sendo que os produtos da moagem são as farinhas de quebra, de redução, farelo grosso da trituração e farelo fino da redução. O rendimento foi determinado em função da massa total de grãos após o condicionamento (Equação 2) e a extração da farinha foi calculada em função da farinha de quebra e redução de acordo com a Equação 3.

$$\text{(Eq. 2) \quad \% Rendimento} = \frac{\text{Farinha extraída} \times 100}{\text{Massa de grãos}}$$

(Eq. 3)

Taxa de Extração= [% de farinha de trituração + % de farinha de redução]

4.2.6 Capacidade de retenção de solventes

A capacidade de retenção de solventes avalia a quantidade de solvente que a farinha é capaz de absorver, proporcionando informações sobre suas características funcionais. Neste estudo, avaliou-se a capacidade de retenção de água deionizada, carbonato de sódio 5%, ácido láctico 5% e sacarose 50%, segundo o método 56-11 da AACC (2000).

4.2.7 Farinografia

A análise de farinografia estima a qualidade de mistura da massa formada pela farinha de trigo e água. Para a realização do teste, utilizou-se o farinógrafo (Brabender GmbH & Co, Duisburg - Alemanha), utilizando 50g de farinha, segundo o método nº 54-21 da AACC (2000). Foram determinados os parâmetros de absorção de água, tempo de desenvolvimento e estabilidade da massa.

4.2.8 Cor

Foram realizadas análises de cor das farinhas, dos miolos e das crostas dos pães elaborados nos testes de panificação.

As medidas de cor foram avaliadas utilizando o colorímetro 410C Chroma Meter (Konica Minolta Sensing Inc., Tóquio - Japão). O aparelho foi calibrado com o padrão fornecido pelo fabricante para os parâmetros L*, que corresponde à medida de luminosidade e cuja escala varia de 0 para totalmente

preto, até 100 para totalmente branco; coordenada a*, referente à escala vermelho/verde, sendo os valores positivos indicativos da presença da cor vermelha e valores negativos da presença da cor verde e a coordenada b*, correspondente à escala amarelo/azul, em que os valores positivos indicam a presença do amarelo e valores negativos a presença do azul.

4.2.9 Teste de panificação

Na elaboração dos pães foi utilizado o método direto, seguindo a metodologia 10-09 da AACCC (2000). Para cada amostra a quantidade de água a ser adicionada foi calculada utilizando os dados da farinografia. O tempo de mistura também teve como base os dados fornecidos pela farinografia, observando-se o ponto de véu.

A massa foi misturada em batedeira planetária modelo cooking chef com batedor tipo gancho (Kenwood, Roodepoort – África do Sul), seguindo a formulação apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Formulação da massa para o teste de panificação

Ingredientes	Quantidade de Ingrediente (g)
Farinha de trigo	100
Sal	1
Açúcar	5
Fermento Biológico	3
Água	Fornecida pela farinografia

Após a formação da massa, esta foi pesada e dividida em duas partes. Em seguida, os pães foram moldados, colocados em formas (18cm de comprimento, 8cm de largura e 7,5cm de altura) e levados para fermentação em estufa a 30°C por 60 minutos. Decorrido este tempo, os pães foram assados a 170°C em forno elétrico modelo Vapinho (Perfecta, Curitiba - PR) por 17 minutos.

Após o assamento, os pães foram desenformados e dispostos sobre grades de alumínio por duas horas, até total resfriamento, para então serem

pesados embalados em sacos plásticos, permanecendo lacrados, até o momento das análises.

4.2.10 Volume específico

O volume aparente dos pães (V) foi determinado, em mL, por deslocamento de sementes de painço, segundo o método 10-05 da AACC (2000). As massas moldadas e os pães foram colocados em uma caixa acrílica com volume inicial determinado (Fotografia 1), a alteração que a massa de sementes sofreu com a adição representou o volume aparente.

O volume específico foi calculado por meio da razão volume aparente (V) / massa.



Fotografia 1 - Instrumento de medição do volume dos pães.

Fonte: Autoria própria.

4.2.11 Textura

A firmeza do pão foi determinada utilizando um texturômetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, UK) acoplado com um *probe* cilíndrico de 35 mm (SMS P/35) no Laboratório de Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR. As análises ocorreram um dia após o assamento, de acordo com o Método da AACC 74-09.01 (AACC, 2010).

A firmeza é a medida definida como a força requerida em gramas para a compressão da amostra. Foram estabelecidas como condições de teste de compressão de 25% da amostra, com o emprego de 0,1N de força e velocidades de pré-teste e teste de 1,0 mm/s.

Cada teste foi fracionado em dez cubos de 25 mm de altura, largura e comprimento, retirados das porções centrais dos pães. A medida adotada como firmeza se referiu à média das dez repetições realizadas.



Fotografia 2 – Medição da firmeza dos pães.

Fonte: Autoria própria.

4.2.12 Análise da estrutura por imagem

A estrutura do miolo foi avaliada de acordo com o método descrito por Pérez-Nieto e colaboradores (2010), as fatias centrais de cada pão foram digitalizadas com scanner de mesa (HP Deskjet 3050, Brasil), os parâmetros brilho e contraste foram mantidos inalterados. As imagens foram salvas em arquivos bitmap, com resolução de 1200 DPI no formato bmp e coloração RGB.

Em seguida, as imagens foram cortadas e convertidas a escala de cinza (8 bit) com o programa Imagej (National Institutes Health, Bethesda – EUA) e um campo de visão (CDV) de 250 x 250 pixels foi selecionado do centro das fatias de pão. Com o mesmo programa, realizou-se a segmentação do histograma de frequências, obtendo-se imagens binárias, de onde se extraíram os parâmetros de medida: número de alvéolos por CDV, tamanho médio dos alvéolos e proporção gás/massa no miolo.

4.2.13 Extração de gluteninas e gliadinas

Para a extração de gluteninas e gliadinas foram utilizados 20 mg de farinha, obtidos por meio da maceração de três grãos de cada amostra, seguindo-se a metodologia descrita por Peña, Gonzáles e Cervantes (2004).

O processo iniciou-se com a adição de propanol 50% sobre a farinha integral, a fim de separar a fração de gliadina e glutenina, da qual a glutenina é insolúvel em álcool. A solução contendo gliadina foi então separada da fração sedimentada ao fundo do tubo, no qual se encontra a glutenina.

A porção de gliadina foi seca em estufa a 90°C até a evaporação total da solução alcoólica e adicionada de solução extratora de gliadina a pH 8,5 e incubada a 90°C por 5 minutos. Quanto à porção de gluteninas, repetiu-se o processo de adição do propanol, descartando a fração líquida para a certificação da inexistência de vestígios de gliadina. Adicionou-se 100 µL de solução de DTT (ditiotreitól) 1,5%, seguidos de agitação em vórtex, incubação a 65°C e centrifugação a 10.000 rpm. Adicionou-se 100 µL de solução contendo 4-vinil

piridina 1,4%, que, em seguida foi homogeneizada, incubada a 65°C e centrifugada a 13.000 rpm. Em seguida foram adicionados 180µL de solução extratora de glutenina a pH 6,8, homogeneizando-se, e incubando a 90°C por 5 minutos.

4.2.14 Eletroforese (SDS-PAGE)

O fracionamento das subunidades de gliadinas e gluteninas foi realizado por meio da aplicação de 10 µL de cada amostra, utilizando a técnica de eletroforese em gel de poliacrilamida na presença de dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE), segundo o método exposto por Peña, Gonzáles e Cervantes (2004). As dimensões dos géis foram de 165 mm de altura e 1,5 mm de espessura, sendo a concentração do gel de corrimento de 15% de acrilamida, e o concentrador de 4,8%. Na cuba para eletroforese utilizou-se solução tampão Tris-Glicina com pH 8,3. O processo foi conduzido sob corrente constante de 20 mA/gel, durante um período de 17,5 horas, com refrigeração a 15°C para evitar o aquecimento dos géis. Após a eletroforese, os mesmos foram mergulhados em solução tinção, contendo o corante Coomassie Blue R, para a fixação e coloração das subunidades proteicas por 3 horas. Decorrido este período, os géis foram retirados da solução e imersos em água para a descoloração por 4 horas, sendo posteriormente fotografados.

4.2.15 Identificação das subunidades proteicas

As subunidades de gluteninas de alto peso molecular, presentes nos locos *Glu-A1*, *Glu-B1* e *Glu-D1*, foram identificadas por meio da nomenclatura estabelecida por Payne e Lawrence (1983). As frações de gluteninas de baixo peso molecular, presentes em *Glu-A3* e *Glu-D3*, foram expressos segundo a nomenclatura descrita por Gupta e Shepherd (1990). Variações alélicas no loco

Glu-B3 e ω -gliadinas foram identificadas conforme a nomenclatura proposta por Jackson et al. (1996).

4.2.16 Análise estatística

Os procedimentos analíticos foram realizados em duplicata. Os dados obtidos foram avaliados pelo programa XLSTAT versão 2008.4.02 (Addinsoft, Nova Iorque – EUA) abrangendo a análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Também foi realizada a correlação de matrizes entre os parâmetros de qualidade das cultivares em estudo, além da Análise de Componentes Principais (ACP).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS GRÃOS E FARINHAS

Os resultados indicaram variabilidade no teor de proteínas, volume de sedimentação, farinha de quebra, farinha de redução e taxa de extração dos grãos, assim como na cor das farinhas obtidas. Tal variação era esperada, dada a diversidade de genótipos em estudo.

5.1.1 Umidade

A determinação do teor de umidade é essencial para avaliar a qualidade do trigo ou farinha, sendo que este deve ser o primeiro parâmetro a ser verificado, uma vez que é utilizado como base para a expressão dos resultados de outras análises, por exemplo, em base seca ou em base úmida. Em geral, o teor de umidade de 14% é utilizado como fator de conversão da farinha para testes em que os resultados são afetados pelo teor de umidade (WHEAT MARKETING CENTER, 2008).

Além disso, segundo Gutkoski e Jacobsen Neto (2002), o teor de umidade é um dos principais fatores de aceleração das reações químicas, enzimáticas e do crescimento microbiano. Sendo assim, é um parâmetro determinante tanto para a conservação dos grãos e farinhas durante o período de armazenamento, quanto para as operações de processamento e comercialização (GUTKOSKI, 2009).

Nos materiais avaliados, o teor de umidade nos grãos (tabela 8) encontrou-se dentro do limite máximo de 13% estabelecido pela Legislação Brasileira para Trigo (BRASIL, 2001), assim como as farinhas extraídas também apresentaram teor de umidade estatisticamente dentro do limite de 15% (Tabela

5) determinado pelo Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo (BRASIL, 2005).

Tabela 5 - Teor de umidade dos grãos e das farinhas.

Genótipo	Umidade grãos (%)*	Umidade farinha (%)*
BRS Gaivota	12,13 ^{ab}	15,08 ^{ab}
BRS Gralha azul	12,13 ^{ab}	14,92 ^{abc}
BRS Guamirim	12,00 ^{bcde}	14,89 ^{abc}
BRS Pardela	12,19 ^{ab}	14,49 ^c
BRS Sabiá	12,26 ^{ab}	15,07 ^{ab}
BRS Tangará	12,02 ^{abcd}	15,09 ^{ab}
CD 104	11,67 ^{cde}	14,78 ^{abc}
Cristalino	11,91 ^{bcde}	15,11 ^a
FPS Nitron	12,42 ^a	14,92 ^{abc}
IPR Catuara	12,42 ^a	14,71 ^{abc}
IPR Taquari	12,24 ^{ab}	14,55 ^{bc}
IPR 85	12,06 ^{abc}	15,23 ^a
IPR 128	12,06 ^{abc}	15,19 ^a
IPR 144	11,62 ^{de}	15,02 ^{abc}
Marfim	11,61 ^e	14,77 ^{abc}

*Média das duplicatas. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

5.1.2 Teor de proteínas

O teor de proteínas nos grãos varia de acordo com a diversidade genética, as condições ambientais e o uso de fertilizantes nitrogenados, sendo que no trigo, a variação é de 8% a 18% (ROSA FILHO, 1999; KHATKAR, 2014). De acordo com o teor de proteínas, o trigo para panificação pode ser classificado quanto à qualidade como muito baixa ($\leq 9,0\%$), baixa (9,1 – 11,5%), média (11,6 – 13,5%), alta (13,6 – 15,5%), muito alta (15,6 – 17,5%) e extra-alta ($\geq 17,6\%$) (WILLIAMS et al., 1988). Desta forma, os genótipos (tabela 7) foram classificados como de qualidade média a extra-alta.

O teor de proteína correlaciona-se com a força geral do glúten, farinografia, teor de glúten e os parâmetros de panificação (BRANLARD et al., 1991). No presente estudo, o teor de proteínas correlacionou-se

positivamente com os parâmetros volume de sedimentação ($r=0,54$) e absorção de água ($r=0,54$). Porém, não apresentou correlação com a estabilidade da massa. Isto por que a qualidade do trigo em termos de proteínas, é determinada tanto quantitativa como qualitativa.

Tabela 6 - Teor de proteína em base seca e volume de sedimentação

Genótipo	% Proteína (base seca)¹	Sedimentação SDS¹ (mL)
BRS Gaivota	17,13 ^b	14,57 ^{cd}
BRS Gralha azul	14,78 ^{ef}	10,87 ^{hi}
BRS Guamirim	16,46 ^{bcd}	17,86 ^a
BRS Pardela	16,57 ^{bc}	15,76 ^{bc}
BRS Sabiá	14,12 ^f	13,49 ^{def}
BRS Tangará	15,57 ^{cde}	12,05 ^{gh}
CD 104	16,77 ^b	16,42 ^b
Cristalino	17,53 ^{ab}	15,54 ^{bc}
FPS Nitron	14,72 ^{ef}	10,71 ⁱ
IPR Catuara	15,36 ^{de}	15,76 ^{bc}
IPR Taquari	15,42 ^{cde}	12,77 ^g
IPR 85	18,42 ^a	14,29 ^{de}
IPR 128	14,06 ^f	13,32 ^{ef}
IPR 144	11,72 ^g	12,86 ^{fg}
Marfim	17,15 ^b	16,25 ^b

¹Média de 2 repetições. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Rosa Filho (1999) observou que as amostras de trigo com baixos teores de proteínas (10 a 11%) apresentaram menores valores de força de glúten. Entretanto, Denčić, Mladenov e Kobiljski (2011) não encontraram correlação entre o teor de proteína e os parâmetros de panificação. Gutkoski et al (2008) relatam que para a elaboração de produtos de panificação, tanto a quantidade e como a qualidade da proteína é um parâmetro importante. Apesar de geralmente ser aceito que quanto maior o teor de proteínas, melhor a qualidade do trigo, isto não é regra para alguns genótipos brasileiros, pois o teor de proteínas por si só não garante que o mesmo tenha uma qualidade superior, devendo-se considerar em conjunto, a qualidade das proteínas, pois elas irão influenciar nas propriedades do glúten (COSTA, 2013).

Oliveira (2010) afirma que a presença de subunidades específicas de HMW-GS e o balanço quantitativo entre gliadinas e gluteninas é que determinam

uma boa ou má qualidade para panificação. Tal fato pode ser comprovado observando (Tabela 7 e tabela 8) que dentre os genótipos em estudo, aquele que apresentou melhor desempenho na avaliação farinográfica (IPR 144), possui o menor teor de proteínas (11,72%). A avaliação dos pães também não encontrou nenhuma correlação entre o teor de proteínas e a textura ou volume específico.

5.1.3 Volume de Sedimentação

O volume de sedimentação em SDS fornece uma estimativa da força de glúten do trigo. Mandarino (1993) classifica essa força segundo o volume do sedimento como fraca ($\leq 12,0$ mL), intermediária (12,5 a 18,5 mL), forte (19,0 a 21,0 mL) e muito forte ($\geq 21,5$ mL). Desta forma, a força de glúten dos genótipos BRS Gralha Azul, BRS Tangará e FPS Nitron apresentou-se fraca, enquanto a dos demais genótipos foi classificada como intermediária (Tabela 6).

Felício et al. (1998) estudaram o efeito das condições de cultivo em sequeiro e sistema irrigado sobre a qualidade dos grãos e observaram correlação positiva entre o volume de sedimento e a força de glúten, constatando que este teste é uma ferramenta útil para uma seleção preliminar dos genótipos.

Os resultados demonstraram correlação positiva (Tabela 7) entre o volume de SDS com o teor de proteínas ($r=0,54$) e com a capacidade de retenção de ácido láctico (0,69), o que era esperado, uma vez que o incremento do teor de proteínas leva a um aumento da quantidade de proteínas formadoras do glúten e conseqüentemente, a um aumento na força de glúten e a capacidade de retenção de ácido láctico tem correlação positiva com a força de glúten da farinha.

Tabela 7 – Correlação de matriz das características dos genótipos e das farinhas

	Pro	Sed	FarQ	FarR	Extr	AA	TD	EST	Pro	CRSa	CRSc	CRSs	CRSla	L*f	a*f	b*f	L*c	a*c	b*c	L*m	a*m	b*m	VP	PP	VPE	Txt
Pro	1																									
Sed	0.54	1.00																								
FarQ	0.22	0.41	1.00																							
FarR	-0.42	0.08	-0.19	1.00																						
Extr	-0.40	0.11	0.08	0.94	1.00																					
AA	0.54	0.10	-0.44	-0.24	-0.36	1.00																				
TD	-0.26	0.20	0.33	-0.12	-0.07	-0.29	1.00																			
EST	-0.54	-0.01	0.19	0.11	0.12	-0.43	0.92	1.00																		
Pro	1.00	0.54	0.22	-0.42	-0.40	0.54	-0.26	-0.54	1.00																	
CRSa	0.25	-0.17	-0.64	-0.19	-0.39	0.88	-0.20	-0.26	0.25	1.00																
CRSc	-0.07	-0.34	-0.23	-0.21	-0.21	0.53	0.05	0.00	-0.07	0.67	1.00															
CRSs	0.60	0.41	0.23	-0.64	-0.57	0.58	0.27	-0.09	0.60	0.43	0.39	1.00														
CRSla	0.36	0.69	0.40	-0.36	-0.34	-0.11	0.53	0.30	0.36	-0.19	-0.28	0.46	1.00													
L*f	-0.03	0.56	0.76	0.13	0.31	-0.44	0.59	0.51	-0.03	-0.57	-0.29	0.14	0.56	1.00												
a*f	0.28	0.34	0.07	-0.34	-0.42	0.08	0.28	0.13	0.28	0.06	-0.18	0.35	0.76	0.15	1.00											
b*f	-0.29	-0.58	-0.52	0.33	0.27	0.23	-0.50	-0.32	-0.29	0.37	0.38	-0.34	-0.89	-0.61	-0.81	1.00										
L*c	-0.72	-0.55	-0.31	0.20	0.17	-0.39	0.20	0.31	-0.72	-0.04	0.21	-0.32	-0.20	-0.08	-0.12	0.23	1.00									
a*c	0.73	0.47	0.36	-0.26	-0.16	0.29	-0.18	-0.38	0.73	-0.06	-0.19	0.37	0.27	0.11	0.20	-0.30	-0.85	1.00								
b*c	0.52	0.32	0.11	-0.07	0.04	0.22	-0.37	-0.59	0.52	0.00	-0.05	0.29	0.14	0.07	-0.07	0.02	-0.19	0.48	1.00							
L*m	-0.51	-0.11	0.26	0.33	0.40	-0.38	0.50	0.55	-0.51	-0.11	0.25	-0.05	-0.02	0.46	-0.15	0.05	0.52	-0.41	-0.25	1.00						
a*m	0.17	0.02	-0.13	-0.42	-0.53	0.13	0.08	-0.01	0.17	0.15	-0.05	0.23	0.43	-0.27	0.86	-0.53	-0.09	0.15	-0.26	-0.28	1.00					
b*m	-0.11	-0.43	0.11	-0.16	-0.07	0.08	-0.22	-0.20	-0.11	0.13	0.47	0.08	-0.52	-0.33	-0.40	0.45	0.17	-0.28	-0.29	0.15	-0.08	1.00				
VP	0.05	0.06	0.42	-0.24	-0.08	-0.25	0.29	0.21	0.05	-0.41	-0.05	0.07	0.37	0.22	0.41	-0.46	-0.12	0.30	0.13	-0.15	0.40	-0.13	1.00			
PP	0.12	0.21	0.10	0.04	0.08	0.43	0.22	0.12	0.12	0.23	0.21	0.42	0.13	0.20	0.42	-0.31	-0.27	0.28	-0.07	0.06	0.35	-0.05	0.32	1.00		
VPE	-0.05	-0.12	0.27	-0.26	-0.16	-0.55	0.08	0.09	-0.05	-0.53	-0.21	-0.28	0.22	0.02	0.02	-0.15	0.12	0.03	0.16	-0.19	0.07	-0.06	0.61	-0.55	1.00	
Txt	-0.38	-0.20	-0.14	0.26	0.25	-0.20	0.21	0.29	-0.38	-0.16	-0.30	-0.18	-0.27	0.06	-0.12	0.05	0.35	-0.46	-0.43	0.18	-0.08	0.14	-0.33	0.17	-0.43	1.00

Pro: Proteína; Sed: Volume de Sedimentação; FarQ : Farinha de Quebra; FarR: Farinha de Redução; Ext: Taxa de Extração; AA: Absorção de Água; TD: Tempo de Desenvolvimento; Est: Estabilidade; CRSa: Capacidade de retenção de água; CRSc: Capacidade de retenção de carbonato; CRSs: Capacidade de retenção de sacarose; CRSla: Capacidade de retenção de ácido láctico; L*f; a*f; b*f : componentes cromático da farinha; L*c, a*c, b*c: componentes de cor da crosta; L*m, a*m, b*m: cromaticidade do miolo; VP: volume do pão; PP: peso do pão; VPE: volume específico do pão; Txt: textura do miolo.

5.1.4 Moagem

Na moagem, os percentuais de farinha de redução (FarR) e da taxa de extração (Extr) são responsáveis por determinar o potencial de moagem de trigo. Essas taxas podem ser influenciadas tanto por características inerentes aos grãos quanto pelo tipo de equipamento utilizado.

Tabela 8 – Rendimentos da farinha de quebra, farinha de redução e taxa de extração dos genótipos.

Genótipo	Farinha de quebra (%)	Farinha de redução (%)	Taxa de extração (%)
BRS Gaivota	13,57 ^b	81,09 ^{ab}	64,52 ^{bc}
BRS Gralha azul	8,76 ^e	76,86 ^{bcd}	60,34 ^d
BRS Guamirim	12,65 ^c	82,53 ^a	64,21 ^{bc}
BRS Pardela	10,90 ^d	81,12 ^{ab}	62,87 ^c
BRS Sabiá	13,34 ^{bc}	84,16 ^a	67,19 ^a
BRS Tangará	10,59 ^d	80,38 ^{abc}	63,65 ^{bc}
CD 104	12,63 ^c	81,94 ^a	64,45 ^{bc}
Cristalino	13,24 ^{bc}	74,91 ^d	58,28 ^d
FPS Nitron	10,13 ^d	75,11 ^d	58,55 ^d
IPR Catuara	8,79 ^e	75,68 ^{cd}	59,20 ^d
IPR Taquari	10,72 ^d	77,45 ^{bcd}	60,06 ^d
IPR 85	10,45 ^d	76,64 ^{cd}	59,20 ^d
IPR 128	12,66 ^c	82,12 ^a	64,06 ^{bc}
IPR 144	12,54 ^c	83,55 ^a	65,36 ^{ab}
Marfim	25,03 ^a	73,11 ^d	60,21 ^d

¹Média de 2 repetições. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

El Dash, Camargo e Diaz (1982) mencionam que a dureza dos grãos é um dos parâmetros que mais influencia a taxa de extração de farinha, pois dependendo da textura, as características de quebra do endosperma, facilidade de separação entre endosperma e farelo, tamanho das partículas extraídas, liberação da farinha de quebra e até mesmo o consumo de energia durante o processo de moagem podem sofrer alterações. Guarienti (1996), assim como Costa (2013), também afirmam que trigos duros apresentam menores taxas de extração de farinha de quebra, enquanto trigos moles e semi-moles apresentam maiores taxas de extração de farinha. Sendo assim, no presente estudo pode-se afirmar que o Marfim apresenta menor grau de dureza, pois sua taxa de extração de farinha de quebra foi

muito maior que a dos demais genótipos avaliados (Tabela 8). Por outro lado, as cultivares BRS Gralha Azul e IPR Catuara apresentaram textura mais dura, pois o rendimento da farinha de quebra foi inferior para ambas.

5.1.5 Cor da farinha

A Tabela 9 apresenta os valores obtidos para a cor das farinhas de trigo extraídas dos materiais em estudo. Conforme a Legislação Brasileira, a farinha de trigo deve apresentar coloração branca, com leves tons de amarelo, marrom ou cinza, de acordo com o trigo que a originou (BRASIL, 2005).

Ortolan et al. (2006) cita que em geral, cada moinho estabelece os padrões para a cor de suas farinhas, sendo que a maioria considera uma farinha branca aquela cujos valores de L^* são superiores a 95, a coordenada a^* próxima à zero (valor positivo ou negativo) e coordenada b^* em torno de + 8.

Observando as variações dos componentes cromáticos apresentados na Tabela 6, constata-se que as farinhas em estudo apresentaram-se amareladas, pois nenhuma delas atingiu luminosidade superior a 95 para ser considerada branca.

A cor da farinha depende de fatores que podem ser intrínsecos aos grãos ou fatores externos. No primeiro caso, pigmentos responsáveis pela coloração dos grãos podem ser incorporados à farinha, ou caso os mesmos contenham oxidantes naturais, estes também podem ser extraídos juntamente com a farinha, tornando-a mais branca com o decorrer do tempo. Quando a cor é decorrente de fatores externos, como por exemplo, a moagem, esta pode ser utilizada como critério de qualidade, pois farinhas com maior grau de extração apresentam maior conteúdo de farelo e conseqüentemente, têm coloração mais escura, maior conteúdo de cinzas e fibras, o que faz com que em geral, tenham qualidade tecnológica inferior às farinhas mais brancas (GERMANI, 2003).

De acordo com Gutkoski et al (2008), a luminosidade da farinha de trigo é afetada pelo conteúdo de farelo ou presença de material estranho, enquanto a intensidade de amarelo é influenciada pela quantidade de pigmentos presentes no trigo. Ortolan (2006) menciona os carotenoides como o principal grupo de pigmentos responsável pela coloração da farinha. Desta forma, a cor amarelada em farinhas

cujos valores positivos da coordenada de cromaticidade b^* são elevados, é decorrente da presença destes pigmentos. Os genótipos BRS Gaivota, BRS Sabiá e BRS Tangará (Tabela 9) apresentaram valores elevados para o parâmetro b^* ($\geq 11,90$) o que indica que esses materiais continham maior quantidade de pigmentos carotenoides.

Tabela 9 - Cor da farinha

Genótipo	L*¹	a*¹	b*¹
BRS Gaivota	89,82 ^{ef}	-1,79 ^h	11,90 ^{ab}
BRS Gralha azul	89,89 ^e	-1,30 ^g	11,33 ^b
BRS Guamirim	90,92 ^c	-1,02 ^f	9,49 ^{cde}
BRS Pardela	90,93 ^c	-0,67 ^e	8,84 ^{efg}
BRS Sabiá	90,28 ^d	-2,02 ⁱ	12,55 ^a
BRS Tangará	89,62 ^{fg}	-1,41 ^g	11,95 ^{ab}
CD 104	91,13 ^c	-0,22 ^b	6,76 ^h
Cristalino	90,33 ^d	-0,46 ^{cd}	9,05 ^{defg}
FPS Nitron	88,39 ⁱ	-0,64 ^e	9,82 ^c
IPR Catuara	89,94 ^e	-0,37 ^c	8,68 ^g
IPR Taquari	89,47 ^{fgh}	-1,65 ^h	11,34 ^b
IPR 85	89,30 ^h	-0,40 ^c	9,40 ^{cdef}
IPR 128	90,32 ^d	-0,01 ^a	8,75 ^g
IPR 144	91,84 ^b	-1,25 ^g	9,60 ^{cd}
Marfim	93,12 ^a	-0,58 ^{de}	5,81 ⁱ

¹ Média de 2 repetições. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Ortolan et al. (2006) relatam que em geral, farinhas de coloração clara são produzidas por grãos de trigo de textura macia, enquanto grãos de textura mais dura produzem farinhas mais escuras. Neste estudo, a relação entre a textura do grão e a cor da farinha foi confirmada, pois ao correlacionar o componente cromático L^* com o rendimento da farinha de quebra, obteve-se uma correlação positiva ($r = 0,76$), pois o rendimento da farinha de quebra está relacionado à dureza dos grãos. Uma vez que grãos mais macios produzem farinhas mais brancas, foi observada uma correlação negativa ($r = -0,57$) com a capacidade de retenção de água, pois quanto mais brando o trigo, a granulometria da farinha é menor, reduzindo sua capacidade de retenção de água (ATWELL, 2001).

Zardo (2010) afirma em seu trabalho que a cor da farinha muitas vezes afeta a cor do produto acabado, sendo importante a padronização deste parâmetro

na indústria de panificação. O presente estudo observou essa relação apenas entre o componente a^* da farinha e a^* do miolo ($r=0,86$).

5.2 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DAS FARINHAS DE TRIGO

5.2.1 Capacidade de retenção de solventes

O teste de CRS fornece informações para identificar características tecnológicas relacionadas com a composição das farinhas (KWEON; SLADE; LEVINE, 2011). Baixa absorção de sacarose, carbonato de sódio e água têm sido relatados em trigos brandos (GAINES et al., 2006; GUTTIERI et al., 2004).

Os perfis de CRS para água (CRSa), carbonato de sódio 5% (CRSc), sacarose 50% (CRSs) e ácido láctico 5% (CRSl) estão apresentados na Tabela 10.

A CRSa da farinha trigo é um dado importante por relacionar-se diretamente ao rendimento na panificação (BORTOLOTTI, 2009). As farinhas apresentaram percentuais de CRSa entre 55,39% e 74,15%. Esses valores correlacionam-se fortemente ($r=0,88$) com a absorção de água fornecida pela farinografia e também com o CRSc ($r= 0,61$), o que era esperado, uma vez que este último está relacionado ao teor de amido danificado, que por sua vez, aumenta a absorção de água pela farinha. No estudo não foi avaliado o teor de amido danificado, porém Costa (2013) obteve em seu trabalho, verificou correlação positiva entre a CRSc das farinhas e o teor de amido danificado nas mesmas. Outro parâmetro que se correlacionou com a CRSa, mas negativamente, foi o componente *L (-0,57), pois farinhas mais brancas geralmente estão associadas a trigos brandos, os quais apresentam menor incidência de amido danificado (COSTA, 2013).

Colombo et al. (2008) em estudo comparativo de testes físico-químicos para a previsão da qualidade de farinhas de trigo argentino verificaram que a CRSs, que está associada com o conteúdo de pentosanas e gliadinas, foi positivamente correlacionada com a capacidade de retenção de água. No presente estudo, esta relação também foi observada, porém com a absorção de água fornecida pela farinografia. As pentosanas, juntamente com o amido danificado, absorvem 100% de

água, sendo essa uma característica desejável para a produção de pães (KWEON; SLADE; LEVINE, 2011).

Tabela 10 – CRS das farinhas (%).

Genótipo	Água¹	Carbonato Ca¹	Sacarose¹	Ác. Láctico¹
BRS Gaivota	65,04 ^{cd}	77,99 ^d	96,04 ^{bcde}	103,50 ^g
BRS Gralha azul	72,89 ^a	94,86 ^a	100,01 ^b	103,93 ^g
BRS Guamirim	65,99 ^{bc}	78,02 ^d	97,15 ^{bc}	125,23 ^{cde}
BRS Pardela	64,84 ^{cde}	58,05 ^h	96,24 ^{bcd}	127,88 ^{cd}
BRS Sabiá	63,92 ^{cde}	83,48 ^c	94,49 ^{cdef}	92,40 ^h
BRS Tangará	65,54 ^{bcd}	81,48 ^c	93,51 ^{cdef}	105,63 ^g
CD 104	61,15 ^f	70,61 ^g	92,22 ^{cdef}	142,06 ^b
Cristalino	73,14 ^a	87,99 ^b	106,00 ^a	139,76 ^b
FPS Nitron	63,91 ^{cde}	74,68 ^{ef}	92,12 ^{def}	103,80 ^g
IPR Catuara	67,73 ^b	81,79 ^c	106,77 ^a	144,99 ^b
IPR Taquari	63,35 ^{ef}	73,44 ^{efg}	89,09 ^f	118,67 ^f
IPR 85	74,15 ^a	89,18 ^b	106,48 ^a	123,39 ^{def}
IPR 128	63,80 ^{cde}	75,91 ^{de}	91,08 ^{ef}	130,42 ^c
IPR 144	62,48 ^{ef}	81,19 ^c	90,02 ^{ef}	120,36 ^{ef}
Marfim	55,39 ^g	72,92 ^{fg}	105,86 ^a	150,61 ^a

¹Média de 2 repetições. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

A CRS_{1a} (Tabela 10) pela farinha está associada à fração proteica de glutenina, tendo correlação positiva com o valor de sedimentação em SDS ($r = 0,69$), de acordo com os resultados relatados por Colombo et al. (2008). Sendo o teste de sedimentação muito utilizado em programas de melhoramento genético de trigo para estimar a qualidade de panificação de linhagens por estar diretamente associado à força de glúten, verifica-se que o teste de capacidade de retenção de solventes também pode ser utilizado na seleção de linhagens promissoras por fornecer igualmente uma estimativa da força de glúten desses materiais, utilizando uma pequena quantidade de amostra.

5.2.2 Farinografia

Os parâmetros avaliados na farinografia foram a absorção de água (AA), que indica a quantidade de água a ser adicionada à farinha para que a massa formada

alcance a consistência ótima de 500 unidades farinográficas; o tempo de desenvolvimento (TD), que corresponde ao tempo necessário de mistura para a formação do glúten, a fim de deixá-la com a consistência ideal para a fabricação do pão e a estabilidade (EST), que indica a resistência da massa formada ao tratamento mecânico e ao tempo do processo fermentativo na elaboração de pão (GUARIENTI, 1986).

A absorção de água dos genótipos estudados variou de 56,85 a 71,4% (Tabela 11). Para panificação, farinhas que absorvem mais água são mais desejáveis, uma vez que a umidade adicionada à massa faz com que retarde o processo de retrogradação, além de aumentar o rendimento (GUTKOSKI et al., 2007; BORTOLOTTI, 2009). A absorção de água pela farinha sofre influência de diversos outros componentes, especialmente o teor de proteínas, amido danificado e pentosanas, o que pode ser verificado pela associação positiva existente entre este parâmetro e a capacidade de retenção de carbonato de sódio ($r=0,53$), sacarose ($r=0,58$) e também com o teor de proteínas ($r=0,56$).

Segundo Germani (2003), uma farinha com boa qualidade para a elaboração de pão de forma é aquela que apresenta absorção de água entre 60 e 64%. Desta forma, as farinhas das cultivares BRS Pardela, BRS Sabiá, BRS Tangará, CD 104 e FPS Nitron são as mais adequadas para a elaboração de pão de forma.

O TD da massa corresponde ao tempo necessário de amassamento para que ocorra a formação do glúten, essencial para a produção de pães (GUARIENTI, 1996). Maior tempo de desenvolvimento indica uma relativa força da farinha que pode ser observada pela correlação positiva com a CRSl_a ($r=0,53$), associada à fração proteica de gluteninas. O TD também apresentou como era esperado, correlação positiva com a estabilidade ($r= 0,86$).

A estabilidade por sua vez, é importante em relação ao tipo de fermentação e ao estresse mecânico que a massa será submetida. Observando a EST das farinhas e o teor de proteínas, foi possível concluir que apesar da quantidade de proteína ser considerada um fator importante, a qualidade destas exerceu maior influência nas propriedades reológicas, pois como abordado anteriormente, os resultados apontaram uma correlação negativa entre a estabilidade e o conteúdo de proteínas ($r=-0,54$) (tabela 7).

Tabela 11 – Análise farinográfica¹

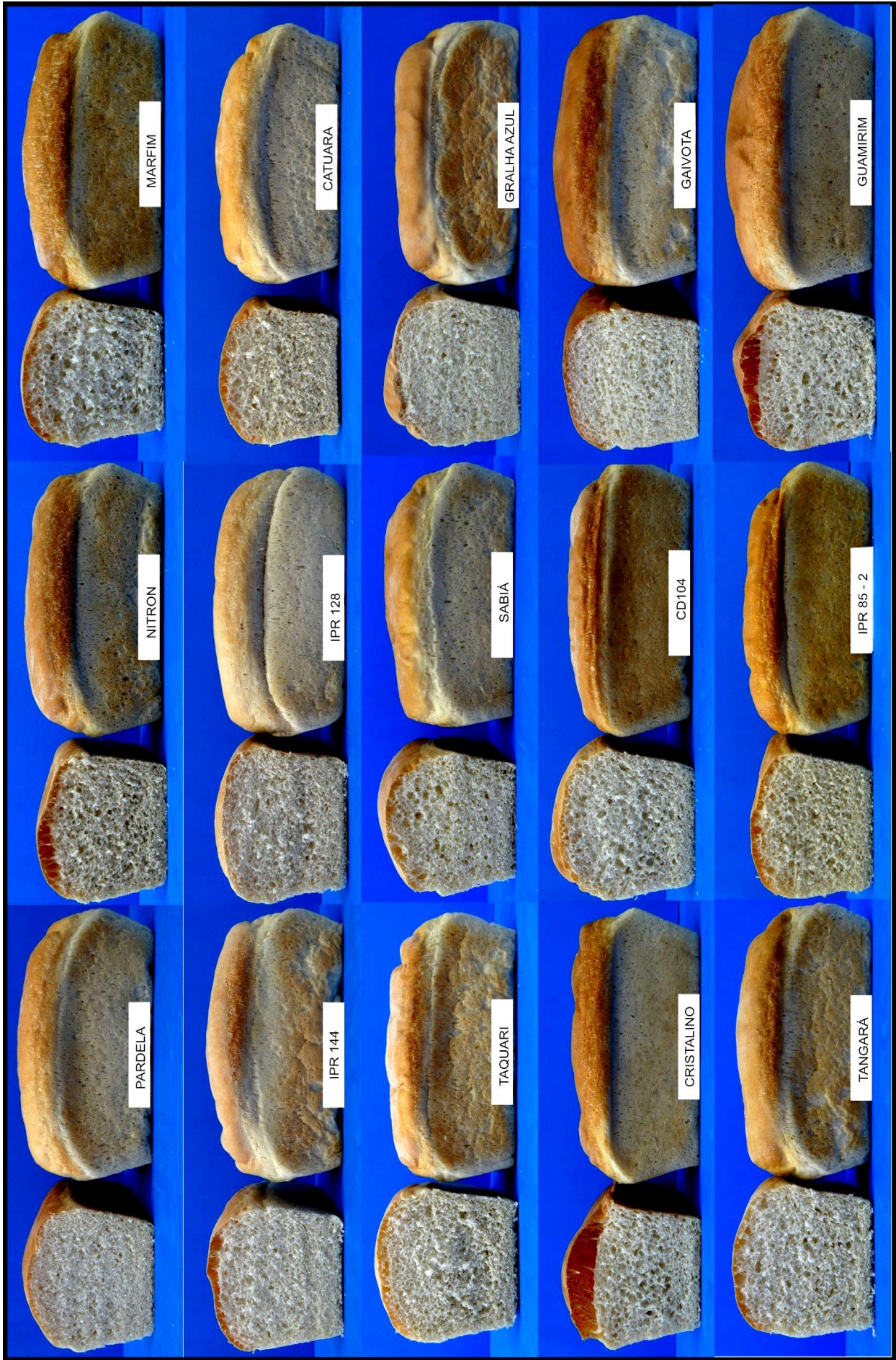
Genótipo	AA	TD	EST
BRS Gaivota	65,15 ^d	7,70 ^{efg}	3,80 ^g
BRS Gralha azul	68,50 ^c	6,80 ^{efg}	3,90 ^g
BRS Guamirim	65,80 ^d	5,95 ^g	5,15 ^g
BRS Pardela	63,85 ^e	10,90 ^{de}	10,65 ^{ef}
BRS Sabiá	62,45 ^f	5,75 ^g	4,15 ^g
BRS Tangará	64,20 ^e	6,60 ^{fg}	4,45 ^g
CD 104	62,20 ^f	11,85 ^{cd}	11,50 ^{de}
Cristalino	71,40 ^a	15,70 ^c	16,15 ^c
FPS Nitron	62,55 ^f	6,10 ^g	9,35 ^{ef}
IPR Catuara	65,20 ^d	22,20 ^b	20,90 ^b
IPR Taquari	58,05 ^g	6,30 ^g	7,65 ^{fg}
IPR 85	70,05 ^b	15,35 ^c	10,85 ^{ef}
IPR 128	58,20 ^g	10,30 ^{def}	14,80 ^{cd}
IPR 144	57,35 ^{gh}	36,20 ^a	70,50 ^a
Marfim	56,85 ^h	23,90 ^b	23,95 ^b

¹Média de 2 repetições. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$). AA: Absorção de água da farinha (%); TD: Tempo de desenvolvimento (min); EST: Estabilidade (min).

Segundo El-Dash e Germani (1994), uma farinha branca com qualidade tecnológica boa para a produção de pão de forma é aquela que apresenta um tempo de estabilidade de 7,5 minutos ou mais. Brunetta (2006) por sua vez, considera adequada uma estabilidade de 10,8 min.

5.3 AVALIAÇÃO DOS PÃES

De acordo com Cauvain (2009), existe um leque de pães com características diversificadas de formato, tamanho, textura, casca, cor, maciez, qualidade sensorial e sabor. Essa diversidade de características faz com que cada tipo de pão tenha atributos específicos de qualidade. Em se tratando da qualidade do pão de forma, este deve apresentar miolo elástico e homogêneo, com poros finos e casca macia e fina (BRASIL, 2005).



Fotografia 3 - Foto dos pães elaborados a partir da farinha dos genótipos

5.3.1 Volume específico do pão

O volume específico do pão é uma dos atributos mais importantes para avaliar a qualidade da farinha de trigo, pois ele afeta tanto a aceitação visual quanto a sensorial. Está relacionado principalmente à quantidade de gás produzido e à capacidade de retenção do mesmo no sistema. Se massa formada tem baixa resistência à extensão, ela não consegue reter o CO₂ e nem manter o seu volume. Por outro lado, se a resistência é muito alta, a pressão do dióxido de carbono é insuficiente para expandir a massa, resultando em pequeno volume (El Dash, 1982).

Os pães produzidos a partir das farinhas dos genótipos em estudo apresentaram diferenças significativas no volume específico (Tabela 12), variando entre 5,15 cm³/g para a cultivar Pardela e 7,17 cm³/g para a cultivar Taquari. Este parâmetro teve correlação negativa com a absorção de água ($r=-0,55$), o que leva a conclusão de que os pães com baixo volume específico foram elaborados com farinhas que continham grande quantidade de amido danificado. Peña (2003) afirma que farinhas com altos níveis de amido danificado absorvem água em excesso, resultando em massa de difícil manipulação e pão com volume pequeno e miolo denso.

Colombo et al. (2008) verificaram correlação positiva entre o volume do pão e o teor de proteínas e volume de sedimentação. Porém, no presente estudo, não foi encontrada nenhuma associação entre os parâmetros mencionados. Faergstad, Molteberg e Magnus (2000), por sua vez, não observaram correlações entre os testes de volume de pão e volume de sedimentação, enquanto Wieser, Hsam e Zeller (2003) não verificaram relação entre o volume de pão e teor de proteína em seu trabalho.

Tabela 12 – Volume específico, textura e tamanho médio de poros¹.

Genótipo	Volume Específico (cm ³ /g)	Textura (g)	Tamanho médio dos poros (pixels)
BRS Gaivota	6,00 ^{def}	91,02 ^{fgh}	334,78 ^l
BRS Gralha azul	5,25 ^h	116,48 ^{efg}	279,88 ⁿ
BRS Guamirim	5,63 ^{fgh}	78,32 ^{gh}	1,155,18 ^m
BRS Pardela	5,15 ^h	201,40 ^a	467,250 ^k
BRS Sabiá	5,48 ^{gh}	185,78 ^{ab}	1,065,16 ^c
BRS Tangará	6,88 ^{ab}	90,50 ^{fgh}	680,64 ^g
CD 104	6,44 ^{bcd}	115,55 ^{efg}	648,93 ^h
Cristalino	5,88 ^{efg}	66,41 ^h	1,154,87 ^a
FPS Nitron	6,35 ^{cde}	158,53 ^{bcd}	1,142,11 ^b
IPR Catuara	6,20 ^{de}	122,51 ^{def}	739,07 ^f
IPR Taquari	7,17 ^a	90,80 ^{fgh}	292,38 ^m
IPR 85	5,59 ^{fgh}	133,91 ^{cde}	788,34 ^e
IPR 128	6,23 ^{de}	90,68 ^{fgh}	542,25 ^j
IPR 144	6,04 ^{def}	172,39 ^{abc}	889,94 ^d
Marfim	6,75 ^{abc}	109,03 ^{efg}	558,60 ⁱ

¹Média de 2 repetições. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

5.3.2 Textura

Segundo Esteller e Lannes (2005), a textura dos pães está associada com a força necessária para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra. É avaliada por texturômetros mecânicos e correlacionada com a mordida humana durante a ingestão dos alimentos. Os mesmos autores mencionam que em produtos panificados, a força máxima avaliada depende dos ingredientes da formulação, como qualidade da farinha, quantidade de açúcares, gorduras, emulsificantes, enzimas, adição de glúten e melhoradores de farinha, além da umidade da massa.

Os genótipos apresentaram variação significativa na firmeza do pão, sendo que a cultivar F. Cristalino apresentou a menor firmeza (66,41g) e a cultivar Pardela a maior (201,40g), conforme pode ser observado na Tabela 12 (resultados expressos em gramas).

Costa (2013), assim como Barrera et al. (2007) observaram correlação negativa entre o volume específico do pão e a textura, indicando que os genótipos com melhores propriedades de panificação apresentaram textura macia (menor firmeza). Barrera et al. (2007) concluíram que possivelmente os entrelaçamentos e as interações entre os polímeros ocorrem mais densamente em pães com baixo volume. No entanto, o presente estudo não observou associação entre a textura dos pães e os demais parâmetros avaliados. Uma hipótese seria o número relativamente pequeno de materiais estudados e também a necessidade de testes complementares não realizados como, por exemplo, a atividade de alfa-amilase, teor de amido danificado, pentosanas e alveografia entre outros.

5.3.3 Análise da estrutura por imagem

A análise de imagem vem sendo proposta como uma ferramenta de grande utilidade para quantificar os parâmetros do miolo que contribuem com a qualidade global do pão como tamanho dos poros, distribuição dos poros e número de poros por unidade de área (Pérez-Nieto et al., 2010).

A Figura 5 mostra as características dos miolos dos pães produzidos, onde se podem verificar as diferenças nas estruturas dos pães. Nela, as imagens digitalizadas em escala de cinza estão dispostas ao lado das imagens convertidas ao sistema binário, onde as regiões correspondentes à massa ficam na cor preta e os alvéolos de gás ficam na cor branca.

Como apresentado na tabela 12, a cultivar Gralha Azul apresentou a menor média para a área dos poros formados (279,88 pixels) e a BRS Guamirim obteve a maior média (1155,18 pixels).

Esteller e Lannes (2005) citam que a quantidade e o tamanho dos alvéolos estão diretamente relacionados à formulação e processos utilizados. Sendo assim, massas com grande quantidade de líquidos tendem a criar, após assados, produtos com alvéolos de grandes dimensões, como pães tipo ciabatta. Os autores também afirmam que o processo de fermentação pode influenciar na formação de alvéolos longos, arredondados ou elipsóides, com maiores diâmetros ou perímetro. Além disso, relatam que massas cilindradas ou que passem por processo que expulse o ar

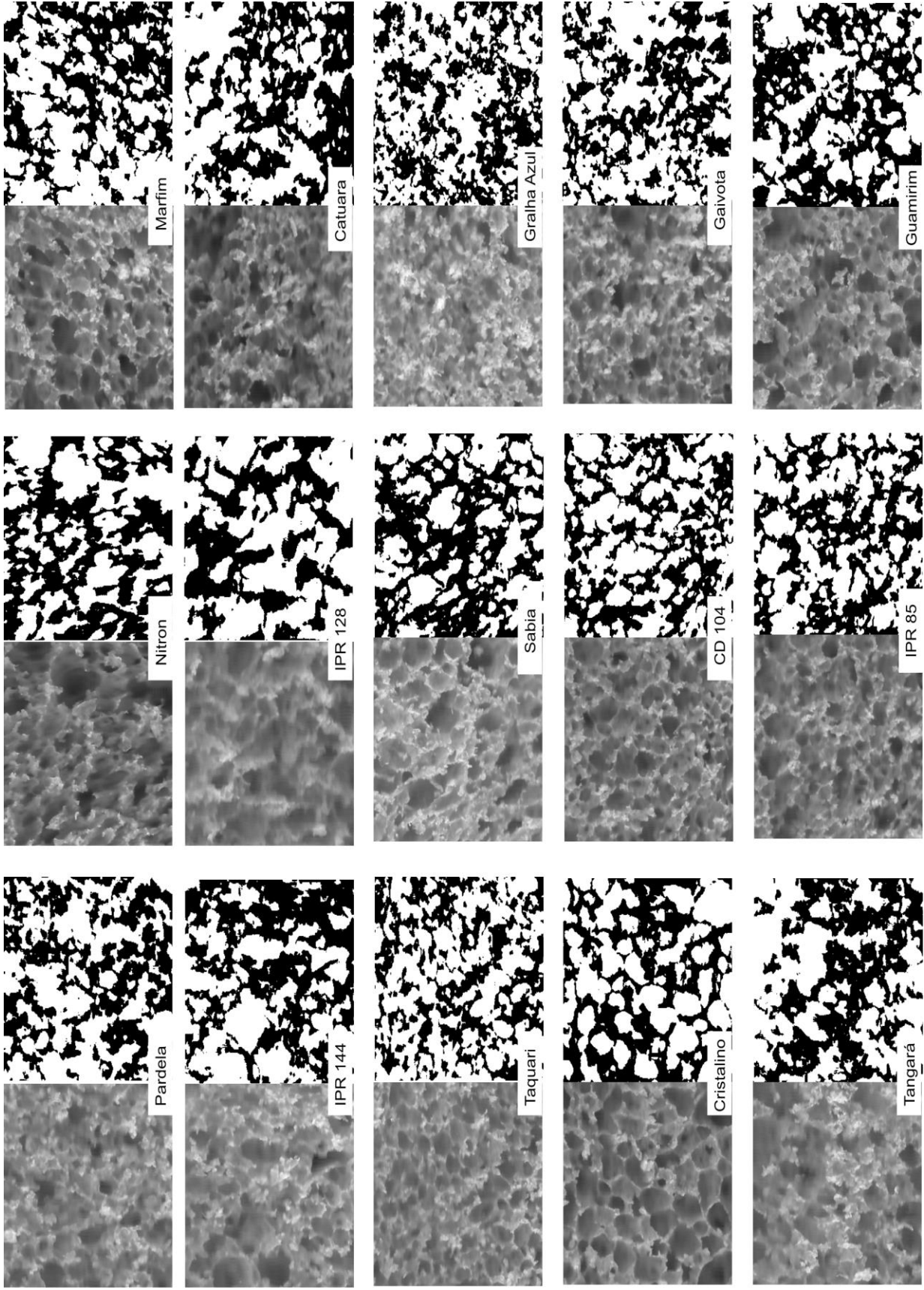


Figura 5 – Imagens em escala de cinza e na forma binária dos miolos de cada farinha testada.

durante a modelagem, tendem à formar produtos com miolo mais homogêneo, com maior número de alvéolos e com volumes menores, característicos do pão de forma.

As imagens do miolo dos pães obtidas permitiu verificar esta afirmação, pois o pão elaborado a partir da cultivar Gralha Azul apresentou maior quantidade de poros, com menor tamanho e baixo volume, sendo que é o que tem a estrutura que mais se assemelha ao pão de forma tradicional.

Sendo assim, verifica-se que quanto maior o volume específico obtido, maior será o tamanho dos poros formados. Dependendo do tipo de pão elaborado, essa afirmação pode estar relacionada a um atributo positivo, ou negativo. Em pães em que se deseja um miolo uniforme, poros muito grandes indicam perda na qualidade do produto final. O que pode ser observado nas cultivares Guamirim, Sabiá, Cristalino e Nitron, que apresentaram tamanho de poro inadequado para o pão de forma.

Como já citado anteriormente, a avaliação da alfa-amilase seria crucial para a correlação das imagens com as demais análises do experimento, fato comprovado por Pérez-Nieto e colaboradores (2010).

5.3.4 Cor da crosta e do miolo

Segundo Esteller e Lannes (2005), a cor é um atributo crítico em produtos forneados, pois pães com crosta muito clara ou muito escura estão associados a falhas no processamento. El-Dash, Camargo e Diaz (1982) citam que além das condições de processamento, a cor está diretamente relacionada com a quantidade de açúcares e enzimas, sendo a cor da crosta, resultado da reação não enzimática entre os açúcares redutores e os grupos amino primários (reação de Maillard) durante o cozimento, induzida pela presença de íons de hidrogênio durante o processo de fermentação.

Altos valores para L^* indicam maior reflectância da luz, o que resulta em pães com coloração clara. Isto pode ser resultado de baixos teores de açúcares ou presença de farinhas e amidos na crosta (ESTELLER; LANNES, 2005).

Maiores valores de a^* estão associados ao desvio para a cor vermelha, indicando coloração mais escura na crosta. Valores altos para b^* são observados em amostras com forte coloração amarelada ou dourada, característica de pães ricos em proteínas, açúcares redutores e ovos.

A avaliação dos componentes cromáticos revelou que os pães apresentaram crosta mais amarelada, onde o componente L^* variou de 49,38 a 66,02 e o b^* apresentou variações de 32,91 a 25,94 (Tabela 13). Esses parâmetros foram influenciados pela presença de proteínas que participam da reação de Maillard, uma vez que houve correlação negativa entre o componente L^* e o teor de proteínas, indicando que quanto maior o conteúdo proteico mais escuro é a crosta. Em relação ao componente b^* , a correlação observada foi positiva, pois quanto maior o conteúdo proteico, mais amarelado é a crosta.

Guerreiro (2006) menciona que em relação à influência enzimática, a atividade de α -amilase é a principal responsável pela cor da crosta dos pães, devido à decomposição do amido em dextrinas e maltose. No entanto, no presente estudo não foi avaliada a atividade desta enzima.

Tabela 13 - Avaliação da cor da crosta dos pães¹

Genótipo	L^*	a^*	b^*
BRS Gaivota	49,38 ^f	14,83 ^a	30,95 ^{ab}
BRS Gralha azul	63,92 ^a	9,77 ^{cd}	30,45 ^{ab}
BRS Guamirim	50,86 ^f	11,53 ^{bc}	30,17 ^b
BRS Pardela	56,56 ^{de}	10,58 ^{bc}	30,27 ^b
BRS Sabiá	65,33 ^a	7,27 ^e	29,25 ^b
BRS Tangará	61,96 ^{abc}	10,07 ^{cd}	32,91 ^a
CD 104	57,79 ^{cd}	11,67 ^{bc}	30,71 ^{ab}
Cristalino	52,17 ^{ef}	11,13 ^{bc}	29,11 ^{bc}
FPS Nitron	56,69 ^d	10,22 ^{cd}	26,61 ^{cd}
IPR Catuara	63,11 ^{ab}	9,97 ^{cd}	30,95 ^{ab}
IPR Taquari	63,59 ^a	8,26 ^{de}	29,70 ^b
IPR 85	58,76 ^{bcd}	10,37 ^{cd}	29,29 ^b
IPR 128	64,86 ^a	9,53 ^{cd}	29,22 ^b
IPR 144	66,02 ^a	7,00 ^e	25,84 ^d
Marfim	55,59 ^{de}	12,56 ^b	30,97 ^{ab}

¹Média de 3 repetições. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Em relação à cor do miolo, os valores de L* geralmente são mais altos e não apresentam grandes variações, pois a temperatura mais baixa e umidade no interior impedem uma reação de Maillard mais intensa.

O miolo apresentou valor de L* entre 63,81 a 74,04 (Tabela 14), sendo que este parâmetro teve uma correlação positiva com a estabilidade ($r=0,55$), sugerindo que farinha de maior força de glúten resultou em pães com miolo mais claros, pois pães com maior volume têm as células do miolo mais uniformes e, portanto que refletem melhor a luz proporcionando um maior L*.

A cromaticidade a* (intensidade de vermelho) no miolo do pão caracteriza uma cor escura e pode estar correlacionada com miolo frágil ou com buraco decorrente de erros na formulação e no processamento, como, excesso de melhoradores, mistura inadequada, massa muito dura, moldagem malfeita e fermentação excessiva (FERREIRA et al., 2001). Pães feitos com farinha com alta atividade de alfa-amilase tendem a apresentar miolo escuro e pegajoso. A intensidade b* variou de 12,13 a 19,6 sendo que este parâmetro teve uma correlação positiva com a intensidade a* da farinha ($r= 0,86$), verificando-se a influência da cor da farinha no produto final.

Tabela 14 - Avaliação da cor do miolo dos pães¹

Genótipo	L*	a*	b*
BRS Gaivota	68,61 ^{bcde}	-2,21 ^{ef}	15,20 ^{cdef}
BRS Gralha azul	70,10 ^{abcd}	-2,01 ^{ef}	15,20 ^{cdef}
BRS Guamirim	67,01 ^{cdef}	-1,92 ^{def}	13,26 ^{ghi}
BRS Pardela	67,51 ^{cdef}	-1,80 ^{cde}	12,13 ⁱ
BRS Sabiá	71,21 ^{abc}	-2,57 ^f	19,46 ^a
BRS Tangará	66,72 ^{def}	-2,20 ^{ef}	14,03 ^{efgh}
CD 104	65,59 ^{ef}	-1,15 ^{bc}	12,63 ^{hi}
Cristalino	67,15 ^{cdef}	-1,22 ^{bcd}	15,85 ^{bcd}
FPS Nitron	63,81 ^f	-0,30 ^a	16,81 ^b
IPR Catuara	68,13 ^{cdef}	-0,88 ^{ab}	13,75 ^{efgh}
IPR Taquari	67,69 ^{cdef}	-2,25 ^{ef}	15,35 ^{bcde}
IPR 85	69,01 ^{bcde}	-0,89 ^{ab}	16,11 ^{bc}
IPR 128	72,88 ^{ab}	-0,53 ^{ab}	14,52 ^{defg}
IPR 144	74,04 ^a	-2,15 ^{ef}	13,96 ^{efgh}
Marfim	70,42 ^{abcd}	-1,68 ^{cde}	15,28 ^{ab}

¹Média de 3 repetições. Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

5.4 CARACTERIZAÇÃO DAS SUBUNIDADES DE HMW-GS, LMW-GS E ω -GLIADINAS

Por meio de eletroforese em géis de poliacrilamida (SDS-PAGE), as proteínas formadoras do glúten foram separadas em função de diferentes pesos moleculares. No gel de gluteninas, as subunidades HMW-GS codificadas pelos locos *Glu-A1*, *Glu-B1* e *Glu-D1* são observadas na parte superior do gel, enquanto as subunidades de LMW-GS codificadas pelos locos *Glu-A3*, *Glu-B3* e *Glu-D3* encontram-se na parte inferior (Figura 6).

A figura 7 apresenta o gel de subunidades de ω -gliadinas presentes nos genótipos.

Constatou-se elevado polimorfismo em termos de HMW-GS para os quinze genótipos analisados (tabela 15), com a presença de oito alelos distintos, sendo dois para o loco *Glu-A1*: subunidades 2* (60,0%) e 1 (40,0%); quatro para o loco *Glu-B1*: subunidades 17+18 (40,0%), 7+8 (33,4%), 7+9 (13,3%) e 13+16 (13,3%) e duas variantes para o loco *Glu-D1*: subunidades 5+10 (73,3%) e 2+12 (26,7%).

Em relação às LMW-GS, a variação alélica foi ainda maior, com a presença de 13 subunidades distintas, sendo três variações para o loco *Glu-A3*, onde a subunidade *c* teve maior frequência (53,3%), seguida da *e/f* (40%) e da subunidade *d* (6,7%); e para o loco *Glu-B3*, verificou-se sete variantes: *b* (33,3%); *f* (13,3%); *h* (13,3%), *g* (13,3%); *j* (6,7%) e *i* (6,7%). Em *Glu-D3* foram observadas 3 variantes alélicas: *b* (73,3%), *a* (20%) e *c* (6,7,3%).

Essa diversidade alélica é comparável à descrita por Cruz et al. (2013) em trigos mexicanos, nos quais foram observados dez alelos distintos para HMW-GS e 14 para LMW-GS.

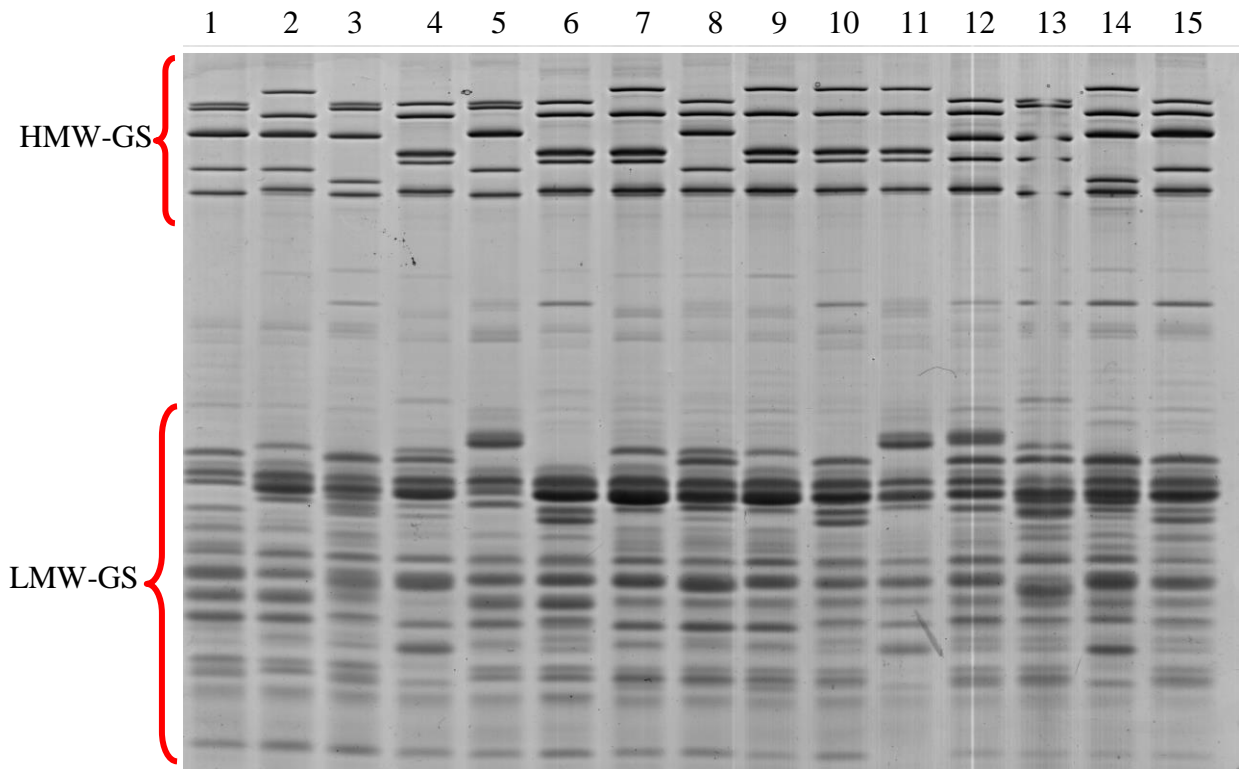


Figura 6 – Gel de subunidades de HMW-GS e LMW-GS. 1- BRS Gaivota; 2- BRS Gralha Azul; 3- BRS Guamirim; 4- BRS Pardela; 5- BRS Sabiá; 6- BRS Tangará; 7- IPR Catuara; 8- IPR Taquari; 9- IPR 85; 10- IPR 128; 11- IPR 144; 12- CD 104; 13- F. Cristalino; 14- FPS Nitron; 15- Marfim.

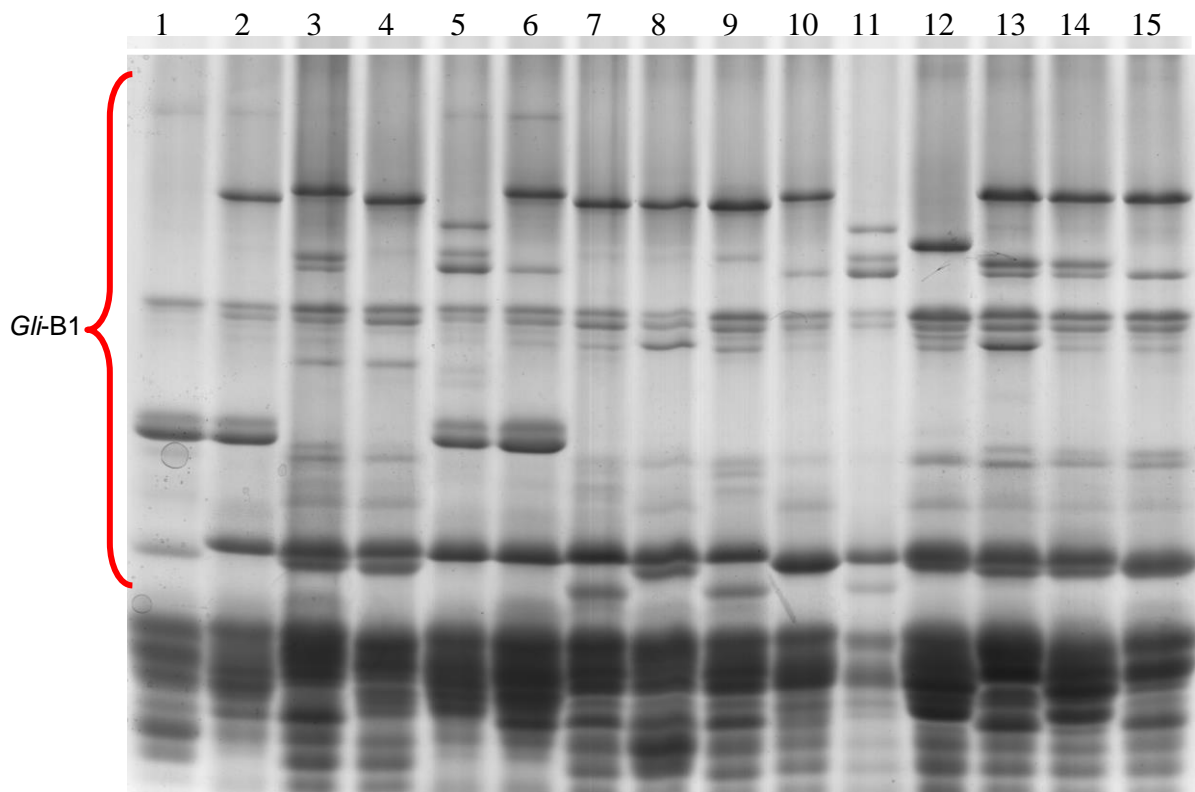


Figura 7 – Gel de subunidades de ω -gliadinas codificadas por *Gli-B1*. 1- BRS Gaivota; 2- BRS Gralha Azul; 3- BRS Guamirim; 4- BRS Pardela; 5- BRS Sabiá; 6- BRS Tangará; 7- IPR Catuara; 8- IPR Taquari; 9- IPR 85; 10- IPR 128; 11- IPR 144; 12- CD 104; 13- F. Cristalino; 14- FPS Nitron; 15- Marfim.

Para o loco *Gli*-B1 de gliadinas, foi observado o mesmo grau de diversidade, com a presença de sete alelos distintos: *b* (33,3%); *g* (20,0%); *d* (13,3%); *f* (13,3%); *e* (6,7%); *m* (6,7%) e subunidade *l* (6,7%). Ao analisar trigos sérvios, Knezevic et al. (2006) também encontraram diversidade semelhante, sendo identificados, para este mesmo loco, os alelos *b*, *l*, *f*, *e*, *k* e *g*. Paralelamente foi observado a ocorrência de translocação de centeio do tipo 1A/1R em 26,7% dos genótipos.

Tabela 15 – Caracterização das cultivares quanto às subunidades de HMW-GS e LMW-GS, ω -gliadinas, translocação e escore total.

Genótipo	HMW-GS			LMW-GS			ω -gli	Trans	Escore
	<i>Glu</i> -A1	<i>Glu</i> -B1	<i>Glu</i> -D1	<i>Glu</i> -A3	<i>Glu</i> -B3	<i>Glu</i> -D3	<i>Gli</i> -B1		
BRS Gaivota	2*	7+8	2+12	c	j	b	l	1A/1R	8
BRS Gralha Azul	1	7+8	5+10	e/f	b	b	b	1A/1R	10
BRS Guamirim	2*	7+9	2+12	c	f	b	g	ausente	7
BRS Pardela	2*	17+18	5+10	c	b	a	b	ausente	10
BRS Sabiá	2*	7+8	2+12	e/f	h	b	d	1A/1R	8
BRS Tangará	2*	17+18	5+10	e/f	g	b	e	1A/1R	10
CD 104	2*	13+16	5+10	c	i	b	m	ausente	10
F. Cristalino	2*	13+16	2+12	d	f	c	g	ausente	8
FPS Nitron	1	7+9	5+10	c	f	a	g	ausente	9
IPR Catuara	1	17+18	5+10	e/f	b	b	b	ausente	10
IPR Taquari	2*	7+8	5+10	c	b	b	b	ausente	10
IPR 85	1	17+18	5+10	e/f	b	b	b	ausente	10
IPR 128	1	17+18	5+10	c	g	b	f	ausente	10
IPR 144	1	17+18	5+10	e/f	h	a	d	ausente	10
Marfim	2*	7+8	5+10	c	g	b	f	ausente	10

ω -gli: ω -gliadinas presentes em *Gli*-B1; Trans: translocação de centeio; Escore: escore total de HMW-GS.

5.4.1 Influência das subunidades de HMW-GS, LMW-GS e ω -gliadinas

Tanto a grande diversidade de tipos de gliadinas e gluteninas como o grande número de combinações possíveis dentro de um genótipo são responsáveis pela existência de uma grande diversidade de força e extensibilidade do glúten entre as variedades de trigo (PEÑA, 2003).

Para o loco *Glu*-A1 de HMW-GS, a presença da subunidade 2* relacionou-se com o maior volume de sedimentação e teor de proteínas que a subunidade 1.

No entanto, estudos realizados por Liang et al. (2010) não observaram diferenças significativas entre as duas subunidades citadas para o volume de sedimentação, tempo de desenvolvimento e força de glúten, sugerindo que a presença destas subunidades têm efeito positivo sobre a força da farinha e suas propriedades reológicas. Liu et al. (2008) por sua vez, menciona que estas subunidades são importante fonte de qualidade, enquanto o alelo nulo (N), ausente nos materiais analisados, é associado a baixo valor qualitativo.

No loco *Glu* B1 e *Glu* D1, a combinação das subunidades 17+18 e 5+10 apresentou associação positiva com os parâmetros farinográficos AA, TD e EST. Sewa (2003) avaliou variedades de trigo indiano e encontrou elevado volume de sedimentação para a combinação 2*, 17+18 e 5+10. Sharma et al. (2012) também afirmam que a combinação das subunidade 17+18 e 5+10 apresentam força de glúten superior. Branlard e Dardevet (1985) em seu trabalho apontaram correlação das subunidades 2* e 17+18 ao crescimento do pão (G). Neste estudo, essa correlação foi verificada, com as combinações 2*, 7+8 e 5+10 e 2*, 17+18 e 5+10, pois os pães com maior volume específico foram elaborados a partir de farinhas que apresentavam essas subunidades.

O escore total dos genótipos não apresentou grandes variações, situando-se entre 7 e 10 (Tabela 15), uma vez que se tratam de cultivares que já foram selecionadas no programa de melhoramento genético justamente por apresentarem elevada pontuação. Desta forma, não foi possível verificar correlação entre o escore total e os parâmetros avaliados.

Quanto à presença de translocação de centeio, como citado anteriormente, verificou-se apenas a presença da translocação do tipo 1A/1R. Zanatta et al (2002) observaram que a ocorrência de translocação, especialmente 1B/1R, constitui um fator positivo no que se refere à resistência contra pragas e doenças, porém diminui a qualidade de panificação do germoplasma por aumentar a viscosidade da massa. O efeito negativo da translocação 1BL/1RS na qualidade de panificação provavelmente está relacionada com o efeito negativo das secalinas, com a redução do número de locos que codificam proteínas do glúten e conseqüentemente, com a menor quantidade de glúten resultante. A translocação 1A/1R, também diminui a qualidade de panificação, mas o efeito não é tão grave como a observada nas variedades portadoras do translocação 1B/1R. Isso se dá devido à menor perda de proteínas do glúten nos genótipos que possuem este tipo de translocação, em

relação aos que possuem a translocação 1B/1R (GRAYBOSCH, 2001; KUMLAY et al., 2003).

Nos materiais avaliados, a translocação 1A/1R esteve presente nas cultivares BRS Gaivota, BRS Gralha Azul, BRS Sabiá e BRS Tangará, as quais apresentaram reduzidos tempos de desenvolvimento e estabilidade da massa.

Em se tratando de LMW-GS, poucos estudos relatam a composição e características de qualidade desse grupo de gluteninas, devido à dificuldade de classificação inequívoca das subunidades pela técnica de SDS-PAGE, decorrente da sobreposição de bandas e baixa resolução do gel (IKEDA et al. 2008). Alguns alelos de LMW-GS foram particularmente difíceis de identificar, como o *Glu-A3 f* e o *Glu-A3 e* (alelo nulo), que codificam subunidades muitas vezes escondidas por LMW-GS codificadas em *Glu-B3*. Devido à dificuldade de distinguir essas duas subunidades, as duas foram combinadas (*Glu-A3 e/f*), assim como adotado por Branlard et al. (2003).

No loco *Glu-A3* de LMW-GS, observou-se que a subunidade *c* esteve presente com maior frequência nos genótipos que apresentaram elevado volume de sedimentação. Martinez-Cruz et al. (2012) verificaram que os locos *Glu-B1*, *D1* e *Glu-B3* afetam a força da massa e extensibilidade, sendo a combinação 2*, 7+9, 5+10 para HMW-GS, aliado à composição *c*, *g*, *b* em LMW-GS, resultam em glúten forte, adequado para panificação.

No loco *Glu-D3*, a ocorrência da subunidade *b* em (73,3%) das cultivares em detrimento da subunidade *a* (20%) e *c* (6,7%), leva a primeira a estar associado com maior frequência aos parâmetros avaliados, o que pode não ser realidade, pelo pequeno grupo de cultivares em estudo. Da mesma forma, em relação aos locos *Glu-B3* de LMW-GS e loco *Gli-B1* de ω -gliadinas, o elevado polimorfismo existente aliado ao reduzido número de acessos analisados, não permitiu verificar de maneira consistente a influência das subunidades codificadas por esses locos na qualidade da farinha de trigo para panificação.

O que se pode observar pelo gráfico de análise de componentes principais (figura 8), é que a cultivar IPR 144 e a BRS Sabiá foram separados de seus grupos principais em função da presença da subunidade *d* em *Gli-B1*, o que significa que esta subunidade exerce influência nas propriedades reológicas da massa.

As cultivares Gralha Azul, IPR Catuara, IPR 85 e IPR Taquari apresentam a subunidade *b* em ω -gliadinas, no entanto, a Taquari ficou isolada das demais no

quadrante inferior pela presença da subunidade 2* em *Glu-A1*, mostrando que esta subunidade tem grande influência nas características de moagem.

As cultivares Guamirim, Cristalino e Nitron apresentam a subunidade *g* em *Gli-B1*, no entanto, a Cristalino permaneceu no quadrante esquerdo, enquanto as demais no direito, devido à presença da subunidade 13+16 em *Glu B1*, indicando que esta teria maior influência nas propriedades de massa TD e EST.

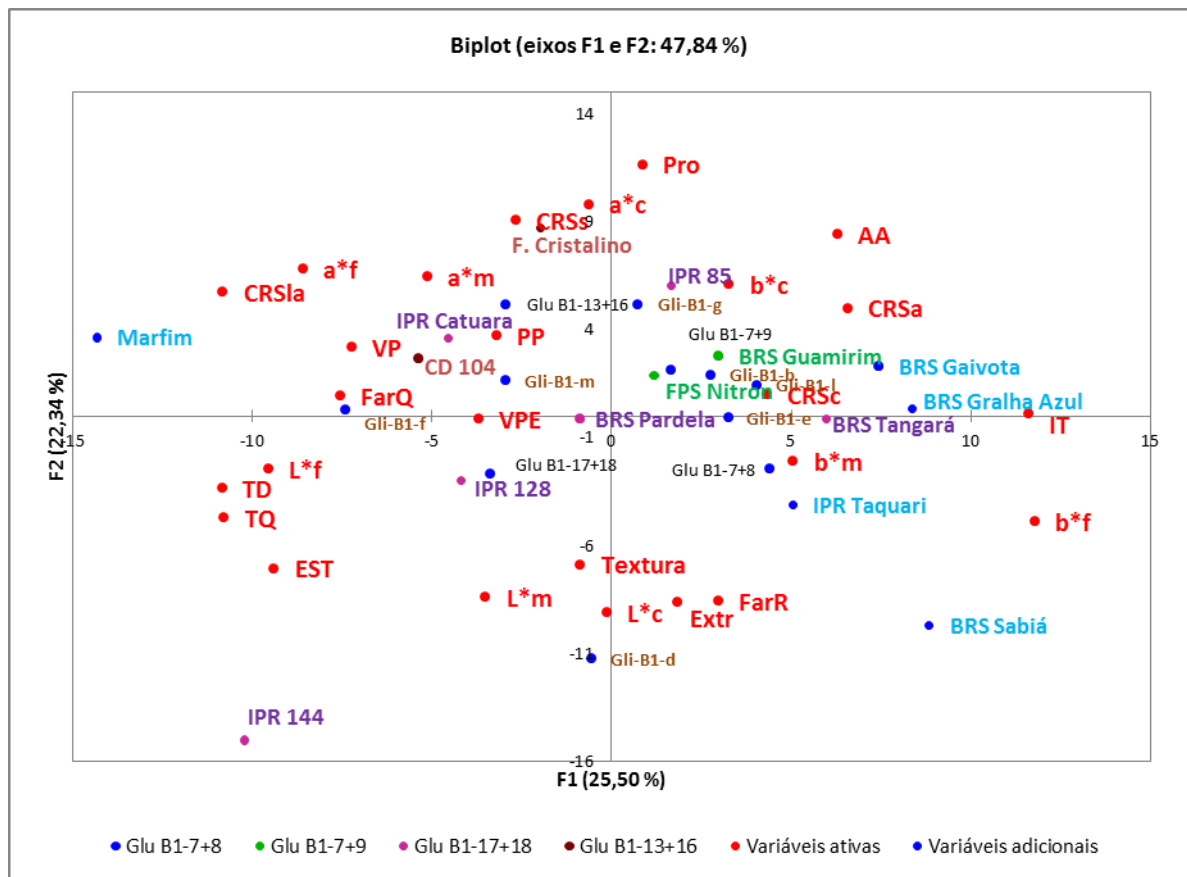


Figura 8 – Análise de componentes principais. AA: absorção de água; TD: tempo de desenvolvimento; TQ: tempo de queda; IT: índice de tolerância; EST: estabilidade; CRSa: capacidade de retenção de água; CRSc: capacidade de retenção de carbonato de cálcio; CRSs: capacidade de retenção de sacarose; CRSla: capacidade de retenção de ácido lático; FarQ: farinha de quebra; FarR: farinha de redução; Extr: Taxa de extração; VPE: volume específico do pão; VP: volume do pão; PP: peso do pão; L*f: componente L* da farinha; a*f: componente a* da farinha; b*f: componente b* da farinha; L*c: componente L* da crosta; a*c: componente a* da crosta; b*: componente b* da crosta; L*m: componente L* do miolo; a*m: componente a* do miolo; b*m: componente b* do miolo.

6 CONCLUSÃO

A caracterização dos 15 genótipos de trigo quanto às subunidades de proteínas formadoras do glúten e associação das mesmas com os resultados dos testes de qualidade, revelou que a subunidade 2* codificada pelo loco *Glu-A1* em HMW-GS, exerceu maior influência positiva sobre o volume de sedimentação e teor de proteínas que a subunidade 1. Nos locos *Glu-B1* e *Glu-D1*, a combinação das subunidades 17+18 e 5+10 resultou em maior absorção de água, tempo de desenvolvimento e estabilidade da massa, enquanto as combinações 2*, 7+8 e 5+10 e 2*, 17+18 e 5+10 correlacionaram-se ao maior volume específico dos pães. Para o loco *Glu-A3* de LMW-GS, a subunidade c apresentou associação positiva com o volume de sedimentação. Além disso, as cultivares BRS Gaivota, BRS Gralha Azul, BRS Sabiá e BRS Tangará apresentaram translocação de centeio do tipo 1A/1R, responsável pelos reduzidos tempos de desenvolvimento e estabilidade da massa formada por suas farinhas.

Em se tratando dos parâmetros de qualidade estudados, em média, os genótipos avaliados obtiveram rendimento em farinha de 62,14%, as quais foram consideradas amareladas. Contudo, a cultivar Marfim apresentou farinha mais clara e maior taxa de extração de farinha de quebra, características de grãos de textura mais branda.

O volume de sedimentação correlacionou-se positivamente com o percentual de proteínas e capacidade de retenção de ácido láctico. O teor de proteínas por sua vez, esteve associado também com a absorção de água.

A CR_{Sa} e CR_{Sc} correlacionaram-se positivamente entre si e com a absorção de água fornecida pela farinografia. A CR_{Sa} teve também associação negativa com o componente cromático L* da farinha. A CR_{Ss} também apresentou correlação positiva com a absorção de água, enquanto a CR_{Sl} teve correlação positiva com o volume de sedimentação em SDS. Esses resultados mostraram que a CR_S pode ser utilizada como teste preliminar para seleção de linhagens em programas de melhoramento genético, uma vez que o ensaio permite avaliar características dos genótipos utilizando uma pequena quantidade de farinha.

Para os parâmetros farinográficos, o TD correlacionou-se positivamente com a EST e CR_{Sl}, enquanto a EST apresentou correlação negativa com o percentual

proteico, mostrando que a qualidade das proteínas exerce maior influência sobre as propriedades reológicas da massa que a quantidade de proteínas.

Em se tratando das características dos pães, somente a cor da crosta teve correlação positiva com o teor de proteínas. O volume específico dos pães por sua vez, associou-se negativamente com a absorção de água, enquanto a textura do miolo apresentou grande variação, assim como o tamanho médio e quantidade de poros. A cultivar Cristalino apresentou maior maciez enquanto a Pardela, textura mais dura. Quanto à estrutura, a cultivar Gralha Azul apresentou poros menores e em maior quantidade.

Vale ressaltar que os resultados referem-se ao universo dos 15 genótipos e dentro dos parâmetros avaliados. Para uma associação mais consistente entre as subunidades de proteínas formadoras do glúten e a qualidade da farinha de trigo para panificação, são necessários testes complementares, como o teor de amido danificado, dureza de grãos, glúten index, alveografia, falling number, entre outros, além de maior número de genótipos e repetições de campo. No entanto, foi possível observar que os parâmetros avaliados são influenciados fortemente não só pelas subunidades de HMW-GS, LMW-GS e ω -gliadinas presentes, mas também pelas combinações entre elas.

REFERÊNCIAS

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10 ed. AACC, 2000.

ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Sobre o Trigo**: derivados. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/index.php?mpg=02.01.00>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

ANJUN, F. et al. Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits-structure, genetics, and relation to dough elasticity. **Journal of Food Science**. v. 72, n. 3, p. 56-63, 2007.

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

BAGULHO, A. S. R. **Estudo das proteínas de reserva e das associadas ao amido e aos lípidos nas propriedades reológicas de farinhas de trigo mole**. (2008). 296f. Tese (Doutorado em Engenharia Agro-Industrial) - Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

BARRERA, G. N. et al. Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality. **European Food Research and Technology**, v. 225, p. 1-7, 2007.

BELDEROK, B.; MESDAG, J.; DONNER, D.A. Survey of gluten proteins and wheat starches. In: _____. **Bread-making quality of wheat: a century of breeding in Europe**. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 2000. p. 30-39.

BOBBIO, Paulo A.; BOBBIO, Florinda O. Massas. In: _____. **Química do processamento de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Varela, 2001. p. 93-100.

BOCK, M. A. Minor constituents of cereals. In KULP, K; PONTE, J. G. **Handbook of cereal Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 2000. 2 ed. p. 479-504.

BORTOLOTTI, Cristina M. **caracterização de farinhas de cevada e o efeito de sua incorporação sobre a qualidade do pão de forma**. 2009. 138f. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

BRAMMER, S. P. **A técnica de eletroforese: importância e aplicações em análises genéticas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.

BRAMMER, S. P. **Mapeamento de genes de resistência parcial à ferrugem da folha em cultivares brasileiras de trigo (*Triticum aestivum* L. em Thell)**. 2000. 105 f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BRANLARD, G. et al. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. **Euphytica**. v. 119, p. 59-67, 2001.

BRANLARD, G.; DARDEVET, M. Diversity of grain protein and bread wheat quality. II. Correlation between high molecular subunits of glutenin and flour quality characteristics. **Journal of Cereal Science**. v. 3, p. 345-354, 1985.

BRANLARD, G. et al. Allelic diversity HMW and LMW glutenin subunits and Omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 50, p. 669-679, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº7 de 15 de agosto de 2001. Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade do Trigo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2001.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 2 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.

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

BRUNETTA, Dionisio et al Características e desempenho agrônômico da cultivar de trigo BRS 229 no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, n.5, p.889-892, 2006.

CALDEIRA, M. T. M. et al. Trigo: Diversidade de trigos, tipificação de farinhas e genotipagem. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**. v. 16, n. 3, p. 44-48, 2000.

CARDOSO, Isabela B. **Tratamento térmico de misturas de farinha de trigo e de quinoa e sua aplicação em bolo tipo pão de ló.** 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, SP, 2007.

CAUVAIN, Stanley P. Pão: o produto. In: CAUVAIN, Stanley P.; YOUNG, Linda S. **Tecnologia da panificação.** 2ªed. São Paulo: Manole, 2009. p. 1- 20.

CHAI, J. F. et al. Development and application of a new co-dominant PCR marker for detecting 1BL/1RS wheat-rye chromosome translocations. **Plant Breeding.** v. 125, p. 302-304, 2006.

COLOMBO et al. A comparative study of physicochemical tests for quality prediction of Argentine wheat flours used as corrector flours and for cookie production. **Journal of Cereal Science.** v. 48, p. 775–780, 2008.

CRUZ, E. M. et al. Las combinaciones de gluteninas de los loci Glu-1 y Glu-3 y la calidad de la masa em trigo harinero. **Revista Mexicana de Ciências Agrícolas.** v. 4, n. 8, p. 1139-1149, 2013.

DENČIĆ, S.; MLADENOV, N.; KOBILJSKI, B. Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. **International Journal of Plant Production,** v. 5, n. 1, p. 71-82, 2011.

DIAS, R. O. **Perfil proteico e uso de marcadores moleculares relacionados à qualidade de panificação em trigo,** 2010. 39f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2010.

DICK, J.; QUICK, J. Modified screening test for rapid estimation of gluten in early generation durum wheat breeding lines. **Cereal Chemistry.** v. 60, n. 2, p. 315-318, 1983.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereal a renewable resource: theory and practice.** Wageningen: American Association of Cereal Chemists, 1982. p. 165-216.

EL-DASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e milho na produção de pães.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1994.

EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C. E.; DIAZ, N. M. **Fundamentos da Tecnologia de Panificação**. São Paulo: Coordenadoria da Indústria e Comércio, 1986.

ESTELLER, M. S.; LANNES, S. C. S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 802-806, 2005.

ESTELLER, M. S. **Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, SP, 2004.

FAERGESTAD, E. M.; MOLTEBERG, E. L.; MAGNUS, E. M. Interrelationships of protein composition, protein level, baking process and the characteristics of hearth bread and pan bread. **Journal of Cereal Science**, v. 31, n. 3, p. 309-320, 2000.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical Yearbook 2013: World Food and Agriculture**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>> Acesso em 08 nov. 2014.

FELÍCIO, João. C. et al. Interação entre genótipos e ambiente na produtividade e na qualidade tecnológica dos grãos de trigo no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 57, n. 1, 1998.

FERNANDES, Maria I. B. M. **Genética e novas biotecnologias no melhoramento de trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do04.htm>. Acesso em: 30 abr. 2014.

GAINES C. S. et al. Comparison of methods for gluten strength assessment. *Cereal Chemistry*, 83: 284–286, 2006.

GERMANI, R. Qualidade de farinha de trigo e panificação. In: **Semana acadêmica de engenharia de alimentos**, 2003, Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, UFRural RJ, 2003. 74p.

GOUTAM, U. et al. Biotechnological approaches for grain quality improvement in wheat: Present status and future possibilities. **Australian Journal of Crop Science**. v. 4, n. 7, p. 469-483, 2013.

GRAYBOSCH, R. A. Uneasy unions: quality effects of rye chromatin transfers to wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 33, n. 3, p. 3-16, 2001.

GUARIENTI, Eliana M. **Qualidade industrial de trigo**. 2 ed. Passo Fundo: EMBRAPA, 1996.

GUERREIRO, Lilian. **Dossiê Técnico**: Panificação. Rio de Janeiro: REDETEC, 2006.

GUPTA, R. B; SHEPHERD, K. W. Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW-GS subunits of glutenin. I. Variation and genetic control of subunits in hexaploid wheats. **Theoretical and Applied Genetics**. v. 80, n. 1, p. 65-74, 1990.

GUTKOSKI, L. C.; JACOBSEN NETO, R. Procedure to laboratorial test of bread making: form bread type. **Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 873-879, set./out. 2002.

GUTKOSKI, L. C. et al. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n.28, v. 4, p. 888-894, 2008.

GUTKOSKI, L. C. **Controle de qualidade de grãos e farinhas de cereais**. Universidade de Passo Fundo, 2009. Disponível em: <http://200.135.19.1/4simposio/docs/avaliacao_qualidade_de_graos_concordia_2009.ppd>. Acesso em: 30 mai. 2014.

GUTKOSKI, L. C. et al. Armazenamento de farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico e seu efeito na produção de pão de forma. **Alimentos e Nutrição**, v. 18, n. 1, p. 93-101, 2007.

GUTTIERI M. J. et al. Application of wheat meal solvent retention capacity tests within soft wheat breeding populations. **Cereal Chemistry**, 81: 261–266, 2004.

HADDAD, Y. et al. **Rheological Behaviour of Wheat Endosperm**: Proposal for Classification Based on the Rheological Characteristics of Endosperm Test Samples.

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

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. American Association of Cereal Chemists. 2ed. St. Paul, 1994.

IKEDA, T. M. et al. International collaboration for unifying Glu-3 nomenclature system in common wheats. In: **International Wheat Genetics Symposium**, Brisbane, Australia, 2008.

KHATKAR, B. S. Proteins and enzymes. In: _____. Functionality of wheat flour components e bakery ingredients. Disponível em: <<http://www.ddegjust.ac.in/studymaterial/pgdbst/pgdbst-02.pdf>>. Acesso em 27 out. 2014.

KNEZEVIC, D. et al. Polymorphism of *Gli-B1* alleles in 25 Kragujevac's wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). **Kragujevac Journal of Science**. v. 28, p. 147-152, 2006.

KUMLAY, A. M. et al. Understanding the effect of rye chromatin in bread wheat. **Crop Science**. v. 43, p. 1643-1651, 2003.

KWEON, M., SLADE, L., LEVINE, H. Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding—A Review, **Cereal Chemistry**. v. 88, n. 6, p.537–552, 2011.

LEW, E. J. et al. Characterization of low molecular weight glutenin subunits by reversed-phase high performance liquid chromatography, sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, and N-terminal amino acid sequencing. **Cereal Chemistry**. v. 69, p. 508-515, 1992.

LIANG, D. Characterization of CIMMYT bread wheats for high- and low-molecular weight glutenin subunits and other quality-related genes with SDS-PAGE, RP-HPLC and molecular markers. **Euphytica**, v. 172, n. 2, p. 235-50, 2010.

LIU, L. et al. A MALDI-TOF based analysis of high molecular weight glutenin subunits for wheat breeding. **Journal of Cereal Science**. v. 50, p. 295-301, 2009.

LIU, L. et al. Comparison of low molecular weight glutenin subunits identified by SDS-PAGE, 2-DE, MALDI-TOF-MS and PCR in common wheat. **BMC Plant Biology**. v. 10. p. 124-141, 2010.

LIU, S. et al. New DNA markers for high molecular weight glutenin subunit in wheat. **Theoretical and Applied Genetics**. v. 118, p. 177-183, 2008.

MANDARINO, José M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: EMBRAPA, 1993. p. 8-9.

MARTÍNEZ-CRUZ E. et al. Contribución de los loci *Glu-B1*, *Glu-D1* y *Glu-B3* a la calidad de la masa del trigo harinero. **Revista Fitotecnia Mexicana**. v. 35, n. 2, p. 135-142, 2012.

MAS WHEAT. **Score Virtual gels**. Disponível em: <http://maswheat.ucdavis.edu/Education/animations/anim_gluten.htm>. Acesso em: 18 nov. 2014.

MATUDA, Tatiana G. **Estudo do congelamento da massa de pão**: determinação experimental das propriedades termofísicas e desempenho de panificação. 2008. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, SP, 2008.

MATUZ, J. Inheritance of SDS sedimentation volume of flour in crosses of winter wheat (*Triticum aestivum*, L). **Cereal Research Communications**. v. 26, p.203-210.

MCKEVITH, B. Nutritional aspects of cereals. **British Nutrition Foundation. Nutrition Bulletin**. v. 29, p. 11-142, 2004.

MIRANDA, M. Z. ; DE MORI, C.; LORINI, I. **Qualidade Comercial do Trigo Brasileiro**: Safra 2007. Passo Fundo: EMBRAPA, 2010. Disponível em:

MIRANDA, M. Z. de. Tópicos relacionados com a qualidade tecnológica do trigo. In: CUNHA, G. R; BACALTCHUK Benami. **Série Culturas**. Porto Alegre: EMBRAPa, 2000, p. 331-339.

MITTELMANN, Andréa et al. Herança de caracteres do trigo relacionados à qualidade de panificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 5, p. 975-983, 2000.

MORELL, M. K. et al. The biochemistry and molecular biology of starch synthesis em cereals. **Australian Journal of Plant Physiology**. v. 22, p. 647-660, 1995.

MOUSIA, Z. et al. Effect of wheat pearling on flour quality. **Food Research International**. v. 37, p. 449-459, 2004.

OLIVEIRA, Ludmila C. de. **Adubação Nitrogenada na qualidade tecnológica do trigo**. 2010. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2010.

ORTOLAN, F. **Genótipos De Trigo Do Paraná – Safra 2004: Caracterização e atores relacionados à alteração de cor de Farinha**. 2006. 140f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PALLARÉS, Manuel G.; LEÓN, Alberto E.; ROSELL, Cristina M. Trigo. In: LEÓN, Alberto E.; ROSSEL Cristina M. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica**. Córdoba: Hugo Báez, 2007. p. 17-71.

PARO, Patricia. **Associação de gluteninas de alta massa molecular e qualidade de panificação em trigo: análise de proteínas e marcadores moleculares**. 2011. 46f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, 2011.

PAYNE, P. I. et al. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making of British-grow wheat varieties. **Journal Science Food Agriculture**. v. 40, n. 1, p. 51-65, 1987.

PAYNE, P. I. et al. Wheat storage protein: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science**. v. 304, p. 359-371, 1984.

PAYNE, P. I.; LAWRENCE, G. J. Catalogue of alleles for the complex gene loci *Glu-A1*, *Glu-B1*, and *Glu-D1*, with code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. **Cereal Research Communications**. v. 11, p. 29-31, 1983.

PEÑA, Roberto J. Influencia de la textura del endospermo y la composición de las proteínas del gluten en la calidad panedera del trigo. In: Fornazzari, Claudio J. **Avances y perspectivas en calidad industrial del trigo**. Temuco: INIA, 2003. p.23-40.

PEREZNIETO, P. P; CAMPOS, L. **Gendered risks, poverty and vulnerability in Mexico Contributions of the Estancias Infantiles para Apoyar a Madres**

Trabajadoras programme. 2010. Disponível em: <
<http://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/6248.pdf>>. Acesso em 10 set 2014.

POMERANZ, Y. **Wheat** - Chemistry and technology. St Paul: AACCC, 3 ed. p.69-88, 1988.

POPPER, L.; SCHÄFER, W.; FREUND, W. Future of Flour - **A Compendium of Flour Improvement.** Kansas City: Agrimedia, 2006.

POSNER, E. S. Wheat. In: KULP, K.; PONTE, J. G. **Handbook of cereal science and technology.** New York: Marcel Dekker, 2000. p. 1-29.

PRABHASANKAR, P.; SUDHA, M. L.; RAO, H. P. Quality characteristics of wheat flour milled streams. **Food Research International**, v. 33, n. 5, p. 381-386, 2000.

QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnologia de La panificación.** Zaragoza: Acribia, 1991.

RAHMAN, S. et al. Genetic alteration of starch functionality in wheat (Review). **Journal Cereal Science.** v. 31, p. 91-110, 2000.

RASPER, V.F.; WALKER, C.E. Quality evaluation of cereals and cereal products. In: Wheat. In: KULP, K.; PONTE, J. G. **Handbook of cereal science and technology.** New York: Marcel Dekker, 2000. p. 505-537.

ROSA FILHO, O. **Uso de adubação nitrogenada no espigamento para melhorar a qualidade industrial do trigo.** Passo Fundo: Aldeia, 1999.

SEWA, Ram. High Molecular Weight Glutenin Subunit Composition of Indian Wheats and their Relationships with dough strength. **Journal Plant Biochemistry and Biotechnology.** V. 12, p. 151-155, 2003.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos.** São Paulo: Varela, 1996.

SHEWRY, P. R. TATHAM, A. S. HALFORD, N. G. The prolamins of the triticeae. In: SHEWRY, P.R; CASEY, R. **Kluwer Academic Publithers.** DORTECH: p. 35-78, 1999.

SILVA Juarez S. et al. **Indicadores da qualidade dos grãos**. Disponível em: <<ftp://www.ufv.br/Inetpub/ftproot/Dea/ Disciplinas/juarez/Secagem%20e%20ArmazenArma%20Livro%20eLeitr%F4nico%20demonstra%E7%E3o/Cap%EDtulo%204.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2014.

SOZINOV, A. A.; POPERELYA, F. A.; STACANOVA, A. I. Use of electrophesis of gliadin for selection of wheat by quality (in Russian). **Vestnik Navki**. v. 7, p. 99-108, 1974.

TORRES, G. A. M. **Proteínas de reserva do trigo**: o pão ou o biscoito nosso de cada dia. 2008. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=23713>>. Acesso em: 10 ago. 2008.

TRONO, D.; PASTORE, D.; Di FONZO, N. Carotenoid dependent inhibition of durum wheat lipoxigenase. **Journal of Cereal Science**, v. 29, n. 1, p. 99-102, 1998.

WHEAT MARKETING CENTER. **Wheat and flour testing methods**: a guide to understanding wheat and flour quality. 2 ed. Kansas State University, 2008. p. 30-57.

WIESER, H.; HSAM, S. L. K; ZELLER, F. J. Relationship between the qualitative and quantitative compositions of Gluten protein types and technological properties of synthetic hexaploid wheat derived from *Triticum durum* and *Aegilops tauschii*. **Cereal Chemistry**. v. 80, p. 247-251.

WILLIAMS, P.; EL-HARAMEIN, K. R.; NAKKOUL, H.; RIHAWI, S. **Crop quality evaluation methods and guidelines**. 2 ed.. Aleppo, Syria: ICARDA, 1988.

WONG, D. W. S. **Química de los alimentos** – Mecanismos y Teoria. Zaragoza: Acribia, 1995. p. 102-108.

ZANATTA, A. C. A. et al. **Uso de marcadores proteicos na seleção de trigo (*Triticum aestivum* L.) com qualidade tecnológica superior na Embrapa Trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 6 p. html (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 85). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co85.htm>. Acesso em: 28 jan. 2014.

ZARDO, Fernanda P. **Controle de qualidade da farinha de trigo: análises laboratoriais**. 2010. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Bento Gonçalves, 2010.

ZHANG, P. et al. Association between % SDS-unextractable polymeric protein (%UPP) and end-use quality in chinese bread wheat cultivars. **Cereal Chemistry**. v. 85, n. 5, p. 696-700, 2008.

ZHANG, Q. et al. Effects of solvent retention capacities, pentosan content, and dough rheological properties on sugar snap cookies quality in Chinese wheat genotypes. **Crop Science**, v. 47, n. 3, p. 656-664, 2007.

ZHANG, W. et al. Characterization and marker development for low molecular weight glutenin genes from Glu-A3 alleles of bread wheat (*Triticum aestivum*. L) **Theoretical Applied Genetics**. v. 108, p. 1409-1419, 2004.