

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

FLÁVIA JULIANA FERREIRA FURLAN

CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA E QUALIDADE INDUSTRIAL DA FARINHA DE
LINHAGENS MELHORADAS DE TRIGO PARA A REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS

PONTA GROSSA
2018

FLAVIA JULIANA FERREIRA FURLAN

CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA E QUALIDADE INDUSTRIAL DA FARINHA DE
LINHAGENS MELHORADAS DE TRIGO PARA A REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS

Dissertação apresentada para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia na
Universidade Estadual de Ponta Grossa,
área de concentração: Agricultura. Linha de
pesquisa: Fisiologia, Melhoramento e
Manejo de Culturas.

Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Matiello

PONTA GROSSA
2018

F985 Furlan, Flávia Juliana Ferreira
Caracterização agronômica e qualidade industrial da
farinha de linhagens melhoradas de trigo para a região dos
Campos Gerais/ Flávia Juliana Ferreira Furlan. Ponta Grossa,
2018.

100 f.

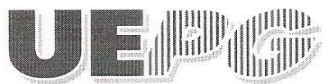
Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de
concentração – Agricultura), Universidade Estadual de Ponta
Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Matiello

1. Caracteres adaptativos. 2. Potencial produtivo. 3.
Herdabilidade. 4. Alveografia. 5. Glúten. I. Matiello,
Rodrigo Rodrigues. II. Universidade Estadual de Ponta
Grossa- Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD : 630

Ficha catalográfica elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos– CRB9/986



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

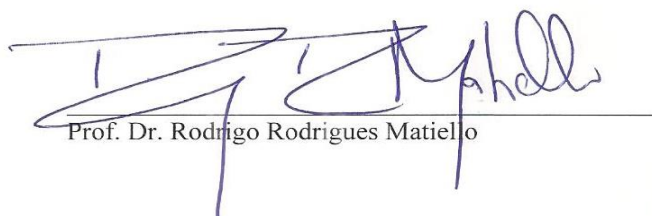
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Caracterização agronômica e qualidade industrial da farinha de linhagens melhoradas de trigo para a região dos Campos Gerais”.**

Nome: Flávia Juliana Ferreira Furlan

Orientador: Rodrigo Rodrigues Matiello

Aprovado pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Matiello



Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate



Dr.ª Caroline de Jesus Coelho

Data da Realização: 17 de agosto de 2018.

A minha família e amigos

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois ele nos dá força para seguirmos em frente, nos tira o medo quando mais tememos algo, nos deu a vida para cuidarmos dela o melhor que possamos e nos dá a oportunidade de cair e se reerguer, para concluir nossos sonhos e objetivos.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e em especial ao curso de pós-graduação em Agronomia, por todo o crescimento profissional e pessoal adquirido ao longo do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Matiello, pela dedicação, tempo disposto, confiança, orientação, auxílio, conhecimento e experiência repassados no transcorrer desses dois anos de mestrado.

Ao laboratório de análise de trigo da Fundação ABC localizado na cooperativa Frísia, pelo ensinamento e disponibilização dos equipamentos para a realização das análises da qualidade industrial da farinha.

A empresa Bunge por possibilitar a realização da análise de alveografia dos genótipos de trigo.

A Companhia Nacional de abastecimento (CONAB) pela disponibilização do equipamento para a realização da análise do Falling Number dos genótipos de trigo.

À minha família, pais, tios, primos e avó, que me deram todo o incentivo para que pudesse estar concluindo mais essa etapa, tão almejada, em minha vida.

A todos os meus amigos por estarem sempre presentes, pelo carinho, incentivando e auxiliando sempre que possível.

A toda a equipe dos Laboratórios de Genética Molecular e de Melhoramento Genético Vegetal, em especial a Dra. Caroline de Jesus Coelho, por todo o auxílio durante a elaboração e condução dos trabalhos e pela agradável convivência.

A todos que contribuíram de alguma forma, grande ou pequena para que esse sonho pudesse estar sendo realizado.

RESUMO

A produção de trigo no Brasil é insuficiente para atender a demanda interna deste cereal. Adicionalmente, a farinha obtida desses grãos, em sua grande maioria, tem qualidade inferior ao exigido pelas indústrias de panificação. Neste sentido, a seleção artificial direcionada para o alto potencial produtivo de grãos e adequada qualidade reológica da farinha para panificação deve ser intensificada pelos programas de melhoramento genético da cultura. Dessa forma, os objetivos do trabalho foram prospectar linhagens melhoradas de trigo com aptidão agrônômica, alto potencial produtivo de grãos e elevada qualidade industrial da farinha. Foram avaliadas 46 linhagens melhoradas e quatro testemunhas, duas comerciais (Quartzo[®] e Safira[®]) e duas linhagens de alto potencial do programa de melhoramento da UEPG (L34 e L38). Foram realizadas avaliações de campo de vigor, ciclo vegetativo e reprodutivo, estatura, massa de mil grãos e rendimento de grãos. Foram conduzidas análises de qualidade industrial da farinha de trigo, como peso hectolitro, número de queda, rendimento de moagem, teor de glúten, alveografia e cor da farinha. Foram realizados as análises de variância e o agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5%. Na sequência foram estimados os parâmetros genéticos para os caracteres agrônômicos e de qualidade industrial da farinha. Os dados foram submetidos à análise de componentes principais (CP), estimada a dissimilaridade genética entre os genótipos de trigo e a análise de agrupamento pelo método UPGMA. As estimativas dos parâmetros genéticos com base nas características agrônômicas, rendimento e qualidade evidenciaram elevada variabilidade genética entre as linhagens melhoradas, indicando possibilidade de ganho genético com a seleção artificial. A análise de componentes principais reduziu o conjunto de seis variáveis em dois componentes principais que explicaram 70,8% da variância fenotípica total. Com base na análise de CP, foi possível a identificação de diferentes grupos de genótipos e das linhagens melhoradas mais promissoras de trigo em relação aos caracteres agrônômicos e ao potencial produtivo de grãos. No agrupamento realizado para as características de qualidade industrial e para os parâmetros da alveografia, a linhagem melhorada L57 se destacou com elevada qualidade da farinha, sendo classificada como trigo melhorador. Os resultados demonstraram o potencial agrônômico de várias linhagens melhoradas do programa de melhoramento genético da UEPG, com maior destaque para a linhagem L57, podendo no futuro ser recomendadas como cultivares comerciais com elevado potencial produtivo de grãos associado à alta qualidade industrial para a panificação.

Palavras-chave: Caracteres adaptativos. Potencial produtivo. Herdabilidade. Alveografia. Glúten.

ABSTRACT

The production of wheat in Brazil is insufficient to meet domestic demand for this cereal. In addition, the flour obtained from these grains, for the most part, is of lower quality than that required by the bakery industries. In this sense, the artificial selection directed to the high productive potential of grains and adequate rheological quality of the flour for baking must be intensified by the crop breeding programs. Thus, the objectives of the study were to prospect wheat breeding lines with agronomic aptitude, high grain yield potential and high industrial quality of the flour. Were evaluated 46 breeding lines and four controls, two commercial (Quartzo[®] and Safira[®]) and two high potential lines from the UEPG breeding program (L34 and L38). Field evaluations of vigor, vegetative and reproductive cycle, stature, a thousand grain mass and grain yield were performed. Industrial quality analyzes of wheat flour, such as test weight, falling number, milling yield, gluten content, alveograph and flour color were conducted. Analyzes of variance and the grouping of means by the Scott and Knott test were performed at 5%. The genetic parameters for the agronomic traits and the industrial quality of the flour were estimated. The data were submitted to multivariate statistical analysis of principal components, estimated the genetic dissimilarity between the wheat genotypes and the cluster analysis by the UPGMA method. Estimates of the genetic parameters based on the agronomic, yield and quality traits showed high genetic variability among the breeding lines, indicating the possibility of genetic gain with the artificial selection. Principal component analysis reduced the set of six variables in two principal components that accounted for 70.8% of the total phenotypic variance. Based on PC analysis, it was possible to identify different groups of genotypes and the most promising wheat breeding lines in relation to the agronomic traits and the productive potential of grains. In the cluster produced for the industrial quality characteristics and alveograph parameters, the breeding line L57 was highlighted with high quality of the flour, being classified as wheat improver. The results demonstrated the agronomic potential of several breeding lines of the UEPG breeding program, most notably the L57 lineage, which may in the future be recommended as commercial cultivars with high productive potential of grains associated with high industrial quality for baking.

Keywords: Adaptive characters. Productive potential. Heritability. Alveograph. Gluten.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Gráfico Biplot da análise de componentes principais, relacionando as variáveis fenotípicas vigor inicial (Vigor), ciclo vegetativo (DEF), ciclo reprodutivo (DEM), estatura (EST), massa de mil grãos (MMG), rendimento de grãos (REND) para os 50 genótipos de trigo. CP1: componente principal 1 e CP2: componente principal 2.....	43
Figura 2 -	Dendrograma produzido a partir da dissimilaridade genética existente entre os 50 genótipos de trigo através da caracterização agronômica. Ponta Grossa, 2018.....	46
Figura 3 -	Dendrograma produzido a partir da dissimilaridade genética existente entre os 50 genótipos de trigo a partir das características de qualidade de panificação. Ponta Grossa, 2018.....	72
Figura 4 -	Dendrograma produzido a partir das distâncias genéticas entre 24 genótipos de trigo a partir das características de alveografia. Ponta Grossa, 2018.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Genealogia dos genótipos de trigo utilizados na caracterização agrônômica, no potencial produtivo e na qualidade industrial da farinha para panificação. Ponta Grossa, 2018.....	33
Tabela 2 -	Hábito de crescimento vegetativo dos genótipos de trigo. Ponta Grossa, 2018.....	37
Tabela 3 -	Estimativa dos parâmetros genéticos das variáveis fenotípicas vigor inicial (V), ciclo vegetativo (DEF), ciclo reprodutivo (DEM), estatura (EST), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (REND), das 46 linhagens melhoradas de trigo. Ponta Grossa, 2018.....	38
Tabela 4 -	Estimativa dos autovalores (λ_j) associados aos componentes principais, importância relativa (λ_j %) e a variância fenotípica total acumulada (%). Ponta Grossa, 2018.....	41
Tabela 5 -	Autovetores dos dois primeiros componentes principais e importância relativa das variáveis fenotípicas vigor inicial (V), ciclo vegetativo (DEF), ciclo reprodutivo (DEM), estatura (EST), massa de mil grãos (MMG), rendimento de grãos (REND) para a formação do componente principal. Ponta Grossa, 2018.....	42
Tabela 6 -	Desempenho médio das seis variáveis fenotípicas para cada grupo de genótipos obtido pelo método de agrupamento UPGMA. Ponta Grossa, 2018.....	47
Tabela 7 -	Estimativa dos parâmetros genéticos das variáveis relacionadas a qualidade tecnológica de panificação, das 46 linhagens melhoradas de trigo. Ponta Grossa, 2018.....	56
Tabela 8 -	Resumo da análise de variância, média e coeficientes de variação das variáveis relacionada à qualidade tecnológica de panificação. Ponta Grossa, 2018.....	57
Tabela 9 -	Distribuição dos genótipos de trigo nos grupos estatísticos de Scott e Knott para as variáveis, peso do hectolitro (PH), número de queda (NQ) e rendimento de moagem (RM). Ponta Grossa, 2018.....	59
Tabela 10 -	Resultados da análise de alveografia para os parâmetros força de glúten (W), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação tenacidade/extensibilidade (P/L), índice de elasticidade (Ie) e índice de intumescimento (G) para 24 genótipos de trigo. Ponta Grossa, 2018.....	62
Tabela 11 -	Distribuição das linhagens de trigo nos grupos estatísticos de Scott e Knott para as variáveis índice de glúten (IG), glúten úmido (GU) e glúten seco (GS). Ponta Grossa, 2018.....	67

Tabela 12 -	Dados médios de coloração de farinha de 50 genótipos de trigo para os parâmetros luminosidade (L^*), coordenada de cromaticidade a^* (vermelho-verde) e coordenada de cromaticidade b^* (amarelo-azul). Ponta Grossa, 2018.....	70
Tabela 13 -	Desempenho médio das variáveis peso do hectolitro (PH), rendimento de moagem (RM), número de queda (NQ), Índice de glúten (IG), coloração da farinha (COR), de qualidade de panificação para cada grupo de genótipos obtido pelo método de agrupamento UPGMA. Ponta Grossa, 2018.....	71
Tabela 14 -	Desempenho médio dos parâmetros força de glúten (W), relação tenacidade/extensibilidade (P/L), índice de elasticidade (Ie), índice de intumescimento da massa (G) associados à análise de alveografia de 24 genótipos de trigo obtido pela distância média entre grupos. Ponta Grossa, 2018.....	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 A cultura do trigo.....	13
3.2 Melhoramento de trigo	15
3.2.1 Avanços do melhoramento de trigo.....	15
3.2.2 Melhoramento relacionado à qualidade tecnológica	17
3.3 Aspectos de qualidade tecnológica de panificação.....	19
3.4 Análises de qualidade tecnológica.....	22
3.4.1 Teor de glúten.....	23
3.4.2 Alveografia	24
3.4.3 Número de queda.....	25
3.4.4 Coloração.....	26
3.4.5 Peso do hectolitro	27
4 CAPÍTULOS.....	29
4.1 Potencial agronômico de linhagens melhoradas de trigo adaptadas a região dos Campos Gerais.....	29
4.2 Prospecção em linhagens melhoradas de trigo para qualidade industrial de panificação ..	48
5 CONCLUSÕES.....	76
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	97

1 INTRODUÇÃO

O trigo é uma das culturas agrícolas de maior importância mundial, e em termos de produção total de grãos ocupa a segunda posição. Este cereal é um dos alimentos mais relevantes para o consumo humano no mundo. A maior parte dos grãos é destinada para indústrias de processamento de alimentos, principalmente relacionados à panificação, e também para a produção de rações animais, fármacos e cosméticos.

O cultivo deste cereal em diversas regiões agrícolas do mundo se deve em função da ampla capacidade de adaptação aos ambientes de cultivo (TADESSE et al., 2016). De acordo com a USDA (2018), anualmente colhem-se no mundo 750 milhões de toneladas de trigo numa área de aproximadamente 220 milhões de ha. O Brasil foi responsável por apenas 0,6% dessa produção, com cerca de 4,2 milhões de toneladas na safra de 2017 (CONAB, 2018), concentrando-se basicamente nas regiões Sul, Sudeste e algumas áreas do Centro Oeste do país (SILVA et al., 2017).

Apesar da produção ser tradicional em algumas regiões do Centro-Sul do país, o volume produzido de grãos ainda é insuficiente para atender a demanda interna deste grão. A demanda nacional anual é de aproximadamente 11 milhões de toneladas, enquanto a produção nacional gira em torno de 5 milhões de toneladas, refletindo num déficit de 6 milhões de toneladas (CONAB, 2018). Esta conjuntura da produção torna o Brasil dependente do mercado externo, refletindo num grande volume de importação de grãos, principalmente da Argentina (MINGOTI; HOLLER; SPADOTTO, 2014).

As maiores dificuldades encontradas com relação à produção no Brasil são relacionadas às condições meteorológicas da estação de cultivo e as oscilações entre os diferentes anos de cultivo, tipos de solo, manejo cultural, logística, armazenagem e preços pagos ao produtor (JESUS; SIDONIO; MORAES, 2011; CUNHA; PIRES; VARGAS, 2011). Além disso, à deficiência de cultivares modernas com alto potencial produtivo, boa qualidade industrial e recomendada para as diferentes regiões tritícolas do país, que possam expressar o máximo potencial genético.

A solução destes problemas nacionais associados à cultura do trigo passa por investimentos financeiros nos programas de melhoramento genético, os quais visam à liberação de novas cultivares melhoradas, com maior potencial genético de produção e mais adaptadas agronomicamente, permitindo atender as exigências dos produtores rurais e do mercado consumidor. Da mesma forma, recursos devem ser direcionados para novas tecnologias agrícolas, subsídios aos produtores e para a expansão da área de cultivo, tendo em vista a

autossuficiência na produção de trigo no Brasil e que atendam as exigências de qualidade industrial dos grãos (SCHEEREN et al., 2011; SILVA et al., 2017).

Assim, o presente trabalho de pesquisa possibilitará, a partir da caracterização agronômica e da qualidade industrial da farinha de um conjunto de novas linhagens melhoradas de trigo, obtidas do programa de melhoramento da Universidade Estadual de Ponta Grossa, prospectar linhagens de trigo com elevado potencial produtivo de grãos, adaptadas a região dos Campos Gerais e com qualidade industrial da farinha, para no futuro poderem ser recomendadas como novas cultivares de trigo para a região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar o potencial agronômico de novas linhagens melhoradas de trigo do programa de melhoramento da UEPG através da quantificação do potencial produtivo de grãos, da adaptação agronômica e da qualidade industrial da farinha de trigo.

2.2 Objetivos Específicos

Realizar a caracterização agronômica e determinar o potencial de rendimento de grãos do conjunto de genótipos de trigo a partir da avaliação experimental de linhagens melhoradas do programa de melhoramento genético da UEPG em relação a genótipos testemunhas experimentais e comerciais utilizados na avaliação;

Prospectar genótipos de trigo com qualidade industrial da farinha a partir das análises do peso hectolitro, do rendimento de moagem, do número de queda, da alveografia, do teor de glúten e da cor da farinha;

Estimar os parâmetros genéticos das novas linhagens melhoradas de trigo para as características agronômicas, para o rendimento de grãos e para a qualidade tecnológica da farinha;

Determinar a variabilidade genética existente entre os genótipos de trigo com base em procedimentos multivariados, buscando identificar grupos de genótipos mais dissimilares;

Identificar as linhagens melhoradas de trigo com maior aptidão agronômica e qualidade tecnológica da farinha, para a região dos Campos Gerais, visando no futuro à recomendação como novas cultivares produtivas e adaptadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A cultura do trigo

O trigo está entre os principais cereais cultivados, sendo considerado uma das mais importantes fontes de grãos alimentares para os seres humanos. Essa cultura responde por aproximadamente 21% da demanda de alimentos no mundo e ocupa a segunda posição em produção de grãos, ficando atrás apenas do milho (CRACKNELL, 2016; UAUY, 2017; FAO, 2018). O maior produtor mundial deste cereal é a União Europeia, seguida pela China, Índia, Rússia e Estados Unidos. Na safra 2017/18 a produção mundial de trigo foi de aproximadamente 759 milhões de toneladas (t), em uma área de 220 milhões de hectares (ha), sendo 1,1% superior à safra de 2016/17 (USDA, 2018).

O trigo é considerado uma cultura amplamente adaptada, podendo ser cultivada em diversos ambientes. A ampla adaptação é decorrente da complexidade do genoma (hexaplóide, com 3 genomas) que permite uma alta plasticidade fenotípica da cultura, fazendo com que a colheita ocorra em algum lugar do mundo, durante todos os meses do ano (BRIGGLE; CURTIS, 1987; ACEVEDO; SILVA; SILVA, 2002). O cereal também é utilizado em produtos de origem não alimentícia como na indústria de fármacos e cosméticos, assim como ração para alimentação animal (BOREM; SCHEEREN, 2015). Existem diversas espécies de trigo, mas apenas duas são consideradas de importância econômica: o trigo comum ou de panificação (*Triticum aestivum* L.), hexaplóide ($2n=6x=42$) e o trigo duro (*Triticum durum* L.) um tetraplóide ($2n=4x=28$) (TADESSE et al., 2016). O trigo comum representa em torno de 95% da produção mundial do cereal.

As estimativas nacionais na safra 2017/18 indicam que foi colhida uma área 1,9 milhões de ha com produção de 4,3 milhões de toneladas, sendo 36,6% menor em relação à safra anterior considerada recorde na produção nacional (CONAB, 2018). De acordo com o IBGE (2018), a safra foi uma das mais insatisfatórias nos últimos anos, fato associado às condições climáticas desfavoráveis, principalmente com relação ao grande volume de chuvas na colheita e redução da área de cultivo.

O trigo é uma das principais matérias primas para as indústrias alimentícias no país, entretanto, sua produção não é suficiente para atender a demanda interna. Por esse motivo, o cereal é o segundo maior produto em importação, ficando atrás apenas do petróleo. Esse fato coloca o Brasil no patamar dos maiores importadores mundiais deste cereal (JESUS JUNIOR; SIDONIO; MORAES, 2011).

O Brasil produz menos da metade da demanda interna nacional. Na safra de 2017/18 a importação de trigo foi de 6,8 milhões de toneladas e o consumo interno, considerando a moagem industrial e sementes, foi de 11,3 milhões de toneladas, sendo que apenas 38% foi proveniente da produção nacional (CONAB, 2018). A maioria desses grãos é importado da Argentina (cerca de 92% na última safra), uma vez que não existe a cobrança de tarifa de importação dentro dos países do Mercosul, a moeda valorizada frente ao câmbio argentino e também a melhor qualidade industrial desse cereal (AMORIM, 2007).

A cultura do trigo apresenta alterações em suas características morfológicas, rendimento e qualidade tecnológica entre as distintas regiões produtoras. Essas diferenças estão relacionadas principalmente a aspectos de clima, solo, tecnologias empregadas, estrutura de produção, oscilação de preços e aos fatores relacionados à gestão dentro do processo produtivo (MIRANDA; MORI; LORINI, 2010). Na última safra, a produtividade média mundial foi de 3,5 t ha⁻¹ (FAO, 2018; USDA, 2018), e no Brasil de apenas 2,4 t ha⁻¹ (CONAB, 2018).

O cultivo do cereal no Brasil se dá em zonas temperadas, subtropicais e tropicais, em solos com níveis diferenciados de fertilidade, acidez, textura e direcionados para diferentes aptidões agrícolas (CUNHA et al., 2011). Dessa forma, é fundamental conhecer as diferentes condições climáticas, edáficas e de manejo, pois poderão influenciar diretamente o rendimento de grãos, a qualidade tecnológica para panificação, o manejo cultural a ser adotado e a utilização de cultivares mais adaptadas às diferentes regiões de cultivo (MIRANDA; MORI; LORINI, 2010; RODRIGUES et al., 2011). Neste sentido, estudos que visam identificar cultivares mais adaptadas são importantes para melhorar o desempenho da cultura do trigo no Brasil, pois de maneira geral, os genótipos recomendados demonstram diferenças no potencial de rendimento de grãos nos ambientes de cultivo, em função da magnitude da interação genótipo x ambiente (SILVA et al., 2016; TRETHOWAN et al., 2018).

Os estados produtores de trigo no Brasil são divididos em regiões de acordo com as condições climáticas locais. Essas regiões são chamadas de: Sul abrangendo o RS, SC e sul do Paraná, caracterizada por regime de chuvas elevado; Centro-Sul com os estados do PR, MS e SP com menor precipitação e solos sem acidez; e a região Central englobando os estados de GO, DF, MT, BA e MG, com solos ácidos e cultivo tanto em sequeiro quanto em áreas irrigadas (CUNHA et al., 2011).

Os estados do Paraná e Rio Grande do Sul detém a maior parte da produção nacional do cereal (TÔSTO et al., 2013) respondendo por cerca de 52 e 30%, respectivamente, da safra

de 2017/18 (CONAB, 2018). Ainda que as maiores produtividades sejam obtidas na região central com a utilização do sistema irrigado, no Sul o cereal é economicamente viável no período do inverno. Para realizar a indicação de cultivares de trigo e a melhoria de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), considera-se a divisão em regiões homogêneas de adaptação para o trigo no Brasil. Leva-se em consideração a precipitação na estação de crescimento, a quantidade de frio, o excesso de calor na fase de enchimento de grãos, a altitude e o rendimento de grãos (CUNHA et al, 2006; CUNHA et al., 2011).

O estado do Paraná, maior produtor nacional do cereal, vem dedicando esforços no desenvolvimento de novas cultivares, além de apresentar solos com boa fertilidade, uma cadeia tritícola e arranjo institucional mais bem estruturada (cooperativas, institutos de pesquisas e instituições de ensino superior) (JESUS; SIDONIO; MORAES, 2011). Dos 196 moinhos em atividade no país 67 estão dentro do território paranaense (ABITRIGO, 2018). A região dos Campos Gerais, em especial, é caracterizada pela participação fundamental no agronegócio estadual e nacional, e abrange os municípios localizados no segundo planalto paranaense (CUNHA et al., 2006). A região se destaca por apresentar rendimento médio, em torno de 3,5 ton ha⁻¹ (DERAL, 2018), superior à média nacional, na produção de grãos e na utilização de novas tecnologias (SCHIMANDEIRO et al., 2006).

3.2 Melhoramento de trigo

3.2.1 Avanços do melhoramento de trigo

Os trigos hexaplóides e tetraplóides foram desenvolvidos a partir de eventos evolutivos e hibridização natural. O primeiro processo ocorreu por evolução divergente, onde o progenitor evoluiu para diferentes espécies diplóides como *Triticum urartu*, *Triticum monococcum* L., *Aegilops speltoides*, *Aegilops tauschii*, cevada (*Hordeum vulgare* L.) e centeio (*Secale cereale* L.). O segundo processo foi convergente e através da hibridização natural, seguida da duplicação espontânea dos cromossomos deram origem as espécies poliplóides conhecidas. O trigo duro (2n=4x=28) pode ter surgido a partir do cruzamento de *Triticum urartu* e *Triticum monococcum* (genoma A) com *Aegilops speltoides* ou outra espécie existente (genoma B), dando origem ao genoma AABB, alotetraplóide. O hexaplóide (2n=6x=42), conhecido como trigo comum, foi originado a partir de um processo de hibridização natural do *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* (AABB) e o *Aegilops tauschii* (DD), dando origem ao genoma AABBDD, alohexaplóide (MCFADDEN; SEARS, 1944; HUANG et al., 2002; DEPAUW; O'BRIEN, 2016).

Na mitose e na meiose os trigos tipo duro e comum se comportam como espécies diplóides, dando origem a 14 e 21 pares de cromossomos, respectivamente (DEPAUW; O'BRIEN, 2016). Este fato possibilitou a transferência de genes entre o trigo comum e suas espécies aparentadas, tornando esse uma fonte para aumentar a variação genética com relação à resistência a fatores bióticos, qualidade dos grãos, entre outros (CASASSOLA; BRAMMER, 2011). O trigo é uma espécie autógama, ou seja, se reproduz por autopolinização, com baixa percentagem de polinização cruzada em condições de campo (FEDERIZZI et al., 2005).

A “Revolução Verde” foi o marco no melhoramento de trigo, pois foi o período onde as espécies mais modernas foram modificadas e submetidas a esquemas de cruzamentos artificiais. Os principais ganhos das variedades modernas com essa revolução foram a maior produtividade, a redução do ciclo, o hábito de crescimento, a maior resistência a doenças e insetos, o aumento da tolerância a estresses abióticos, a uniformidade na maturação e o maior teor/qualidade do glúten. Todavia, esses efeitos positivos no rendimento de grãos e na qualidade tecnológica da farinha, promoveram a redução da variabilidade genética e das propriedades nutricionais, devido à substituição das raças antigas por variedades modernas (DINU et al., 2018).

O crescente aumento da população mundial tem refletido no incremento da produção de alimentos. Em função de o trigo ser considerado umas das principais culturas alimentares em todo mundo, é necessário que sejam adotadas técnicas que visem atender essa demanda e a principal estratégia é o melhoramento de plantas (YU; TIAN, 2017; SHI; LING, 2018). Além desta, duas outras áreas têm concentrado os esforços dos programas de melhoramento genético em trigo: tolerância a estresses bióticos/abióticos, melhoria no processamento e na qualidade industrial da farinha (MANN et al., 2009).

Uma ferramenta imprescindível ao melhorista é a escolha adequada de metodologias que sejam eficientes na seleção de genitores e previsão do desempenho das populações segregantes (VALÉRIO et al., 2009). A definição do método que será utilizado depende de diversos fatores como: custo do desenvolvimento das variedades, recursos disponíveis para serem utilizados no programa de melhoramento e a disponibilidade de métodos de seleção para as características de interesse. Os principais métodos de condução utilizados para a cultura do trigo são: o massal, o *bulk*, o *pedigree* ou genealógico, o descendente de uma única semente (SSD – *Single Seed Descendent*) e o retrocruzamento (DEPAUW; O'BRIEN; BAENZIGAN, 2016). No Brasil, métodos de seleção recorrente têm sido utilizados (SCHEEREN et al., 2011).

No país o método mais utilizado na condução de plantas autógamas é o *Pedigree* ou Genealógico. Isso ocorre, porque este método proporciona um melhor direcionamento da seleção artificial, uma vez que se tem controle da genealogia dos genitores e das progênes (FEDERIZZI et al., 1999). A seleção das progênes é realizada em função das estimativas genéticas, não apenas por seu desempenho, mas identificando as combinações que sejam mais favoráveis (ALLARD, 1961; NUNES; MORETO; RAMALHO, 2008; OLIVEIRA et al., 2015). Desde 1950, segundo Chang et al. (2018) foram desenvolvidas diversas cultivares na China a partir do método *pedigree*, o que levou a um aumento substancial do rendimento e na produção de trigo no país.

Ainda não existem trigos transgênicos comercializados e as novas variedades são desenvolvidas a partir de técnicas comuns de melhoramento baseado na seleção artificial (LI et al., 2012). A maioria dos estudos são, historicamente, direcionados para a identificação de variações naturais, visando o enriquecimento do estoque genético do trigo comum. Com a evolução dentro dos programas de melhoramento, vem se buscando técnicas que facilitem o trabalho dos melhoristas, para que os objetivos sejam alcançados mais rapidamente. As ferramentas moleculares surgiram visando aumentar e acelerar os ganhos em produtividade (BASSI et al., 2016). Com os avanços da tecnologia, as pesquisas em trigo alavancaram e atualmente tem se baseado na seleção genômica, nos dados de sequenciamento, na obtenção de bibliotecas mutantes tendo como base a captura de exomas e edição de genomas (YABE et al., 2016; WANG et al., 2018; WANG; RIAZ; YE, 2018).

3.2.2 Melhoramento relacionado à qualidade tecnológica

Um dos focos dos programas de melhoramento do trigo é com relação à qualidade tecnológica de panificação. Essas características são determinadas pelas necessidades dos consumidores e processadores de alimentos, as quais visam combinar o teor de proteína, características físicas, rendimento de moagem, força da massa, extensibilidade, propriedades de panificação e valor nutricional (HOWITT; MISKELLY, 2017; BEDO; LANG; RAKSZEGI, 2017). Segundo D'Ovidio e Masci (2004) a qualidade tecnológica é um conjunto de características complexas que são controladas por muitos genes.

De acordo com Guzman et al. (2017) o programa de melhoramento do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT) tem como principal objetivo a avaliação dos ganhos genéticos obtidos através da seleção e do melhoramento para diversas características, principalmente aquelas relacionadas ao rendimento de grãos, pela necessidade

de maiores tetos produtivos em diversos países. Entretanto, com relação aos incrementos genéticos para as características de qualidade industrial, é relatado apenas um trabalho realizado pelo CIMMYT (ORTIZ-MONASTERIO et al., 1997). Neste trabalho, os autores comentam que as características de processamento e qualidade industrial da farinha de trigos de primavera foram melhoradas nos últimos 50 anos através da seleção indireta.

Diferentes características relacionadas à qualidade dos grãos podem ser avaliadas em programas de melhoramento como, por exemplo, a extração da farinha (HUCL et al., 2015); o teor de proteínas nos grãos (SANCHEZ-GARCIA et al., 2015; LAIDIG et al., 2017) as propriedades físicas como a força de glúten e o tempo ideal para mistura (MORGOUNOV et al., 2013; SANCHEZ-GARCIA et al., 2015). Segundo Henry e Wrigley (2018) a seleção dos genótipos com maior número de atributos relacionados à qualidade dos grãos será mais eficiente se for possível à identificação de um gene principal no controle de cada característica, facilitando ao melhorista no início do processo de seleção descartar as plantas/linhagens que não contemplem o ideotipo para a qualidade industrial desejada. Battenfield et al. (2016) utilizaram a seleção genômica para avaliar as características de qualidade final do trigo, testadas pelo programa de melhoramento de trigo do CIMMYT. Os autores observaram que características reológicas relacionadas ao produto final podem ser previstas com elevado nível de segurança, facilitando a seleção precoce para qualidade tecnológica dos grãos.

As mudanças na alimentação e nos padrões de consumo nos dias atuais com relação aos cereais estão fazendo com que os melhoristas encarem novos desafios, mesmo que os produtos tradicionais e a qualidade do processamento ainda sejam importantes. O trigo é um alimento básico na dieta humana, mesmo assim pode causar alergias e intolerâncias em indivíduos celíacos e ou naqueles com sensibilidade ao glúten não celíaca, em função da presença do glúten, além dos indivíduos que adotam dietas livres de glúten. Segundo Jouanin et al. (2018) uma das estratégias dentro do melhoramento seria o desenvolvimento de variedades com menor ou nenhum epítomos imunogênicos das proteínas do glúten, mantendo suas propriedades de processamento de alimentos, e combinando diferentes estratégias. Além disso, os componentes presentes no trigo são associados a problemas como diabetes do tipo 1 (ANTVORSKOV et al., 2014; GORELICK et al., 2017). Alguns pesquisadores já discutiram sobre o efeito potencial de farelos de diferentes cultivares de trigo nas funções fisiológicas e metabólicas, relacionadas à hipoglicemia e redução do peso (HAMID et al., 2017).

3.3 Aspectos de qualidade tecnológica de panificação

A qualidade tecnológica da farinha de trigo é o fator mais importante para as indústrias de panificação, uma vez que visam à elaboração de produtos que tenham alta qualidade, atendendo as demandas dos consumidores. Para a obtenção de um trigo de qualidade é necessário que sejam satisfeitos todos os segmentos envolvidos na cadeia tritícola, como os agricultores que visam o rendimento e custo de produção; os moinhos e as indústrias que estão preocupados com a qualidade do processamento e as propriedades funcionais resultantes (DUPONT; ALTENBACH, 2003). Os consumidores buscam por um produto final saboroso, de boa qualidade e um melhor esclarecimento com relação à saúde aliado aos alimentos e a sustentabilidade (HELLEMANS et al., 2018).

Segundo Finney et al. (1987), a qualidade tecnológica de trigo vai depender de diversos fatores como a moagem, o processamento, as características físicas e químicas da massa. A combinação destes fatores vai determinar a qualidade na produção de pão, massas e diversos outros produtos. As classes de qualidade e o uso final do trigo vão ser definidos por padrões distintos observados nas propriedades químicas, físicas e reológicas da farinha (NASHAT; ABDULLAH, 2016; GABRIEL et al., 2017). As características reológicas como elasticidades, viscosidade e extensibilidade são de relevância tanto para o processamento quanto para a panificação (KTENIOUDAKI et al., 2010).

A classificação comercial de trigo no Brasil é dividida em 6 classes de acordo com a Instrução Normativa nº 38, de 01 de dezembro de 2010, do MAPA: trigo melhorador, trigo pão, trigo doméstico, trigo básico, trigo para outros usos e trigo durum, sendo que as cinco primeiras classificações se referem ao trigo comum (*Triticum aestivum* L.) e a última ao trigo duro (*Triticum durum*) (BRASIL, 2010). O trigo doméstico e básico são os genótipos aptos para serem utilizados na produção de bolos, bolachas, pizzas e massas caseiras frescas. O trigo pão são os genótipos aptos para a produção de pão tradicional (francês) e o trigo melhorador são os genótipos utilizados para panificação, produção de massas alimentícias e pães industriais. Por outro lado, o trigo duro é utilizado para a produção de massas alimentícias secas (italiana) e o trigo para outros usos é destinado à alimentação animal ou industriais (GUTKOSKI et al., 2011).

As interações de dois principais grupos vão definir a qualidade do trigo para o uso industrial direcionado à produção de farinha de trigo, sendo os relacionados ao controle genético (tipo e a qualidade da proteína, as propriedades do amido, dureza dos grãos, rendimento de moagem, coloração dos grãos e germinação na espiga) e os relacionados aos

fatores ambientais (tipo de solo, sanidade, enchimento de grãos, conteúdo proteico real, perdas através do clima, grãos avariados, infestação por pragas ou doenças e umidade do grão na colheita) (GUTKOSKI; NETO, 2002; MIRANDA; GUARIENTI; TONON, 2011; MISKELLY, 2017).

De acordo com Henry e Wrigley (2018) os principais fatores contribuintes são o genótipo (G), o ambiente de crescimento (E) e posteriormente a efetividade do processamento (P) e as interações $G \times E \times P$. A natureza da interação dos componentes em nível de alelos vai codificar para proteínas funcionais e enzimas, auxiliando na identificação do fenótipo funcional. Studnicki et al. (2016) estudando o efeito da interação genótipo $\times$ ambiente $\times$ manejo em trigo de primavera, observaram que o rendimento foi muito influenciado pelas condições ambientais. Já as características de qualidade, principalmente as relacionadas à quantidade e qualidade de proteínas foram mais afetadas pelo manejo e pelo genótipo utilizado. A avaliação dos diferentes genótipos de trigo a partir da interação desses fatores permite a recomendação de cultivares com maior expressão de potencial produtivo e de qualidade tecnológica, adaptadas aos diferentes ambientes de cultivo (HATFIELD; WALTHALL, 2015; STUDNICKI et al., 2016).

Para a avaliação da qualidade tecnológica do trigo deve ser considerado qual o destino do produto processado. O mais comum é a moagem para a panificação, tendo a farinha de trigo como o principal produto (KTENIOUDAKI; BUTLER; GALLAGHER, 2010). No Brasil, do volume total processado e comercializado de farinha de trigo, cerca de 55% é utilizado na panificação, 17% para a produção de macarrão, 13% para biscoitos, 11% para uso domiciliar e 4% para outros destinos (ABITRIGO, 2012). As farinhas que se enquadram na panificação são aquelas advindas de trigo forte e com elevado conteúdo de proteína, entre 11 a 14% (MAILHOT; PATTON, 1988). A qualidade e a quantidade de proteínas, as gliadinas e as gluteninas e suas subunidades são importantes para a qualidade da panificação (DOWELL et al., 2008).

As gliadinas e as gluteninas, são as proteínas de reserva do endosperma do grão e são importantes em características funcionais únicas da farinha do trigo (KATYAL et al., 2016), sendo a composição dessas proteínas inerente ao genótipo de trigo. Quando essas proteínas são hidratadas e submetidas à agitação mecânica, elas têm a propriedade de formar um material visco elástico, que é conhecido como glúten (CAUVAIN, 2015; GAO et al, 2016). As gluteninas vão conferir força e elasticidade, enquanto as gliadinas promovem a viscosidade da massa (ROSELL, 2016). As gliadinas compreendem cerca de 40 a 50% das proteínas de armazenamento presentes nas sementes do trigo, e tem grande influência na

qualidade tecnológica e nutricional da massa (WIESER; KIEFFER, 2001). Por outro lado, as subunidades das gluteninas (GS), que tem alto peso molecular (High Molecular Weight - HMW-GS), são estruturas polipeptídicas, poliméricas de cadeia múltipla e atuam de modo principal nas propriedades visco elásticas da massa, agindo diretamente na retenção do gás (CO₂), possibilitando o crescimento do pão (GAO et al., 2016).

As gluteninas de baixo peso molecular (Low Molecular Weight - LMW-GS) (GIANIBELLI et al., 2001; KATYAL et al., 2016) determinam a extensibilidade da massa (EAGLES et al., 2002). O teor de proteína é o aspecto mais importante da farinha de trigo, uma vez que define o volume do pão, e está diretamente relacionado à qualidade de panificação (DOWELL et al., 2008; AGHAGHOLIZADEH et al., 2017).

Um dos fatores mais preocupantes com relação à qualidade da farinha são as condições climáticas específicas durante o ciclo da cultura e na fase de pré-colheita (MEREDITH; POMERANZ, 1985). De maneira geral, esses fatores agem diretamente sobre o rendimento de grãos e de proteínas de forma qualitativa e quantitativa, além de provocar também efeitos adversos, que em função dos estresses causados pode levar a mudanças na expressão gênica, podendo interferir em diversos outros mecanismos (HELLEMANS et al., 2018).

Segundo Olaerts e Courtin (2018) quando, após a maturidade fisiológica, a cultura é submetida a condições de alta umidade, chuvas prolongadas e baixas temperaturas, pode ocorrer a germinação dos grãos na espiga. Esse processo leva a produção de enzimas hidrolíticas nos grãos e como consequência a redução da qualidade tecnológica, prejudicando o processamento da farinha. Altas temperaturas, acima de 35°C diários, sem precipitação durante cinco dias ou mais pode causar estresse térmico, impactando na qualidade dos grãos e consequentemente da farinha, provocando fraqueza da massa (RANDALL; MOSS, 1990). Durante o enchimento de grãos, temperaturas elevadas podem aumentar a proporção relativa de proteínas, levando ao acúmulo de proteínas pobres (DUPONT et al., 2006).

Mkhabela, Bullock e Sapirstein (2018) estudaram os efeitos dos parâmetros climáticos como temperatura, precipitação, evapotranspiração, radiação solar, e velocidade do vento na qualidade do trigo de primavera, nas Pátrias Canadenses. Observaram que as variações nas características de qualidade como teor de proteínas, volume do pão, tempo de desenvolvimento da massa, absorção do farinógrafo e a demanda e o uso da água foram os parâmetros com maior associação com relação à qualidade do trigo.

Zivancev et al. (2017) constataram que os fatores climáticos afetaram mais os parâmetros de qualidade de panificação e do componente de amido da farinha, do que a

composição de glúten nas cultivares avaliadas. Segundo Hellemans et al. (2018) as práticas de manejo cultural, como a rotação de culturas, a época de semeadura, a adubação (nitrogenada), a utilização de reguladores de crescimento e o controle de doenças (doenças dos grãos), influenciaram significativamente na qualidade do trigo.

Existe grande variabilidade quanto ao grau de qualidade das farinhas de trigo obtidas nas diferentes regiões de cultivo, principalmente quando comparadas àquelas obtidas de cultivares de trigo brasileiras com as importadas. Costa et al. (2008) realizaram um estudo com relação a qualidade tecnológica dos grãos e das farinhas de trigo brasileiras e importadas e observaram uma maior qualidade comercial e tecnológica na farinha de trigo importada, sendo classificada como trigo melhorador. Por outro lado, as farinhas nacionais entram na classificação de trigo tipo pão e brando. Esses resultados sugerem a necessidade de atenção especial aos aspectos relacionados à qualidade tecnológica dos grãos de trigo, visando um aumento do valor comercial do produto destinado à indústria. Para uma valorização e melhor comercialização do trigo brasileiro, é necessário que os esforços se voltem para caracterização do trigo e da farinha com relação à qualidade tecnológica e também do processamento do cereal para as diferentes partes da cadeia tritícola (MIRANDA et al., 2008). Além dos fatores de qualidade tecnológica é importante que se relacionem os componentes ambientais e pertinentes ao genótipo, dando enfoque ao melhoramento buscando, por exemplo, cultivares mais estáveis às flutuações climáticas e resistentes às doenças (MIRANDA; GUARIENTI; TONON, 2011).

3.4 Análises de qualidade tecnológica

As propriedades da farinha, como as físicas, químicas, enzimáticas e reológicas e o processo de panificação vão determinar a qualidade do pão (RASPER, 1991). Dentre os parâmetros físico-químicos utilizados destacam-se o rendimento de moagem, o peso dos grãos, o teor de proteínas, o teor de umidade (MUTLU et al., 2011), a dureza dos grãos, a sedimentação de Zeleny, a microssedimentação com sulfato dodecil de sódio, o número de queda e o peso do hectolitro (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009). Entretanto, as análises reológicas são as mais importantes na determinação da qualidade de panificação. Essa metodologia inclui as análises de glúten, farinografia, extensografia, análise da atividade α -amilásica e análise rápida de viscosidade (SCHEUER et al., 2011; SCHALK; KOEHLER; SCHERF, 2018).

A qualidade de panificação é analisada rotineiramente através de testes de panificação de forma mais segura e precisa e o volume do pão normalmente é considerado o parâmetro básico na avaliação e qualificação. As principais dificuldades encontradas com relação aos testes de panificação são os equipamentos específicos utilizados que em geral são caros, necessidade de técnicos bem treinados e tempo (BOUACHRA et al, 2017). De maneira geral, um teste único não avalia de forma precisa a qualidade de panificação e não qualifica os genótipos de trigo quanto à aptidão industrial, fazendo-se necessário a utilização e complementação de diversas análises para uma classificação correta (ZHU; KHAN, 2002; MIRANDA et al., 2015).

3.4.1 Teor de glúten

O glúten é estabelecido como uma rede de proteínas que são formadas a partir de ligações e interações entre as proteínas gliadinas e gluteninas (proteínas insolúveis) que estão presentes na farinha do trigo e outros cereais (ORTOLAN; STILL, 2017). Quando ocorre a mistura da farinha e água e é aplicada uma força mecânica a essa massa, aparecerem às características visco elásticas, típicas do glúten utilizadas na preparação de produtos para panificação (SCHIEDT et al., 2013; ZHOU et al., 2014). O teor e a qualidade das proteínas do glúten são considerados um dos recursos mais importantes para avaliar a qualidade de panificação do trigo de forma indireta. É de fundamental importância na fabricação do pão, pois o desempenho da massa vai depender dessas características visco elásticas proporcionadas por esse componente (DOWELL et al., 2008; ORTOLAN; STILL, 2017).

O índice de glúten (IG) determina de forma concomitante a qualidade e a quantidade de glúten, sendo correlacionado com variáveis de força proteica (AACC, 2000). No procedimento a farinha passa por uma câmara de lavagem com uma solução salina visando remover o amido e os outros solúveis da amostra, permanecendo após a lavagem o glúten úmido. Essa amostra é submetida à centrifugação, forçando o glúten passar por uma peneira. A porcentagem de glúten que permanecer na peneira é o IG, indicando assim a força do glúten. Adicionalmente, pode ser obtido a quantidade de glúten seco (BONFIL; ABBO; SVORAY, 2015; OIKONOMOU et al., 2015). A avaliação do índice de glúten foi proposta como uma forma mais ágil para estimar a qualidade do processamento do trigo (OIKONOMOU et al., 2015).

De acordo com Bonfil e Posner (2012) para a produção de pão, os valores do índice de glúten podem trazer alguma indicação sobre a qualidade do glúten da farinha, mas

ênfatizam que não se deve usar apenas esse índice, pois os resultados podem ser questionáveis. Alguns estudos mais recentes utilizaram parâmetros do glúten (glúten úmido, glúten seco e índice de glúten) como complemento na avaliação das características de qualidade da farinha de trigo em diferentes cultivares (KATYAL et al., 2016; CHAUDHARY; DANGI; KHATKAR, 2017; AMIRI et al., 2018), e também para o mapeamento de QTLs (Quantitative Trait Loci) correlacionados à características de qualidade industrial da farinha (LIU et al., 2017).

3.4.2 Alveografia

A alveografia é um método de análise que simula o desempenho da massa durante a fermentação, levando a formação em grande escala de alvéolos na massa que se originam a partir do CO₂ produzido pela fermentação (MODENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009). Nesta análise é verificada a resistência da massa à extensão através da deformação biaxial única, que representa o mesmo tipo de extensão que ocorre durante a fermentação da massa (KTENIOUDAKI; BUTLER; GALLAGHER, 2010). Na maioria dos países o método mais comum de análise reológica de qualidade da farinha destinada à panificação é a alveografia, juntamente com a extensografia (PATEL; BELL, 2016).

Segundo Miranda, Mori e Lorini (2009) a alveografia pode dar origem a diferentes parâmetros de avaliação, com relação às características visco elásticas da massa: (i) Força de Glúten (W) – expressa em 10⁻⁴ J, representando o trabalho de deformação da massa, ou seja, o trabalho mecânico utilizado para expandir a bolha até seu rompimento, fazendo inferência sobre qualidade de panificação da farinha (força da farinha); (ii) Tenacidade (P) - expressa em mm, indica a pressão máxima que é despendida para a expansão da massa, permite medir a capacidade de absorção de água pela farinha e tem relação inversa com a proteína, volume do pão e o glúten úmido; (iii) Extensibilidade da massa (L) - expressa em mm, é a eficiência de extensão da massa, sem o rompimento, sendo que o alto grau indica baixo rendimento de farinha, antevendo o volume do pão aliado com a proteína; (iv) Relação Tenacidade/Extensibilidade (P/L) – define o equilíbrio da massa, onde o P é dado como a resistência da massa à deformação e L a extensibilidade da massa. As farinhas podem ser classificadas de acordo com esse parâmetro em extensível, balanceada e tenaz; (v) Índice de elasticidade (Ie) – é definido pela relação P200/P máxima do alevograma, sendo expresso em porcentagem. Está relacionado com a qualidade de panificação da farinha e quanto mais próximo de 100%, maior a resistência elástica da massa. De forma geral, valores entre 50 a

55%, após a adição de ácido ascórbico, são ideais. Ainda sugere-se que esse parâmetro vai ter relação com valores de estabilidade farinográfica.

O parâmetro G corresponde ao índice de intumescimento da massa, sendo a média dos índices de crescimento das curvas da alveografia, correspondendo à raiz quadrada do volume de ar (expresso em mL ou cm³) que provocou a ruptura da bolha (AACC, 2000).

Em algumas situações os melhoristas utilizam a média da força de glúten, advinda de amostras dos grãos obtidos em ensaios de valor, cultivo e uso (VCU), sendo utilizado para a classificação das cultivares nas classes comerciais (MARCHIORO et al., 2009; SILVA et al., 2010).

Guzman et al. (2016) evidenciam que pela reduzida quantidade de sementes nas gerações iniciais de um programa de melhoramento, além dos custos altos e tempo, pode ocorrer dificuldades da realização de testes como a alveografia. Segundo os autores, a ausência de seleção para a qualidade nas primeiras gerações do programa de melhoramento pode levar a condução e desenvolvimento de linhagens de trigo inapropriadas para o processamento e qualidade industrial da farinha.

3.4.3 Número de queda

Um dos principais parâmetros avaliados com relação à qualidade tecnológica da farinha de trigo é a atividade amilolítica, que possui grande efeito sobre a força de fermentação da massa (ZARZYCKI; SOBOTA, 2015). Esse teste é chamado como número de queda (NQ), mais conhecido como *Falling Number*, determinado em segundos (s).

O amido representa cerca de 70% do peso seco total dos grãos, e essa reserva é acumulada no desenvolvimento da semente e degradada ao longo do processo de germinação permitindo a nutrição dos primeiros estádios de desenvolvimento das plântulas (RAL et al., 2015). A degradação desse amido vai depender da ação sinérgica de diferentes enzimas que são direcionadas para esse objetivo (BLENNOW; ENGELSEN, 2010; STREBET; EICKE; ZEEMAN, 2012). A principal dessas enzimas é a alfa-amilase (MAJZLOVA et al., 2013).

O NQ tem como objetivo medir a intensidade de atividade da enzima alfa-amilase, que vai afetar a qualidade do produto, a utilização final e as propriedades da farinha durante o processo de aquecimento (PERTEN, 1964). Esse método mede a liquefação do amido gelificado em uma suspensão de farinha aquecida em banho de água fervente. A enzima alfa-amilase faz com que o amido gelificado se liquefaça, em função da sua atividade, promovendo condições como as de forneamento dos pães. Quanto menor o valor, mais alta a

atividade diastática e o teor de amido danificado (ICTA, 2018). Tanto alta atividade amilolítica quanto muito baixa, em relação aos valores desejados, levam a formação de produtos de baixa qualidade, sendo, portanto, menos valorado comercialmente (OSTASIEWICZ et al., 2009). Segundo Sun et al. (2007) esse parâmetro também é afetado pelo nível de dano aos grânulos de amido e pelo tamanho, influenciando no teor de amilose e conteúdo de lisofosfolípídeos, que vão refletir no poder de inchamento, gelatinização e propriedades da massa.

De acordo com Tang et al. (2017) o NQ tem padrão de herança quantitativa, sendo muito afetado pelo efeito ambiental. Desta forma, para realizar a melhoria das características que estão relacionadas ao NQ, é necessário um complexo entendimento dos aspectos genéticos inerentes, ambientais e da interação genótipo-ambiente.

Os baixos valores de NQ e a alta atividade da alfa-amilase podem ser causados pela germinação na pré-colheita (GPC) (DEPAUW et al., 2012; RAL et al., 2016). É necessário que se busquem alternativas para manter o NQ elevado, visando à compreensão de processos bioquímicos e moleculares que atuam sobre a germinação na pré-colheita e o controle genético que determina esses fatores, levando ao desenvolvimento de estratégias de seleção artificial para o GPC e o NQ nos genótipos de trigo selecionados (KRUPNOV; KRUPNOVA, 2015). A alta atividade das enzimas hidrolíticas presentes na farinha de trigo advinda de GPC, afetam a qualidade dos produtos desenvolvidos. Normalmente os grãos advindos de GPC são desclassificados e destinados a outros fins (OLAERTS et al., 2016). Farinha de trigo de GPC (NQ < 200 s) origina massa pegajosa, inelástica e de difícil manuseio, levando a formação de pão com baixo volume, dificuldade para o corte e cor mais escura, não tendo aceitabilidade pelos consumidores (MIRANDA; MORI; LORINI, 2009; OLAERTS et al., 2016). Por outro lado, farinhas com baixa atividade enzimática, origina um produto com textura interna seca e quebradiça.

3.4.4 Coloração

A coloração do grão é uma das características de grande importância do trigo, pois tem influência direta na aceitação do produto final produzido e comercializado a partir da farinha de trigo (HIMI et al. 2002). Normalmente os consumidores optam pela farinha branca (MIRANDA; MORI; LORINI, 2009). Assim, os critérios utilizados na avaliação são muito modificáveis e vão depender diretamente da preferência variável dos consumidores com

relação aos produtos alimentares finais que são processados com a farinha de trigo (DONG et al., 2015).

De acordo com Oliver, Blakeney e Allen (1993) a brancura da farinha vai ser influenciada por dois fatores. O brilho sofre atuação em sua maior parte dos processos de moagem, em função do tamanho das partículas e adições de farelo. E o amarelecimento é governado pelos pigmentos carotenóides no endosperma do trigo, muito abundantes nos genótipos de trigo comum (HIDALGO; FONGARO; BRANDOLI, 2014). A quantidade e a cor dos carotenóides na farinha de trigo sofrem influências das características genéticas inerentes, das condições ambientais, estresses durante a produção dos grãos e dos fatores de armazenamento (HIDALGO; FONGARO; BRANDOLI, 2014).

Os processos de moagem e taxas de extração agem sobre alguns componentes como cinzas, proteínas, pigmentos e teor de amido danificado, além de diferença entre os genótipos, dureza e teor de umidade que vão impactar diretamente sobre a coloração (POSNER, 2009). Para a determinação da cor utiliza-se, normalmente, o colorímetro Minolta, que avalia diferentes atributos de cor na farinha: (i) Luminosidade L^* que tem escala de zero (preto) a 100 (branco), sendo assim, quanto mais próximo de 100 mais branca é a coloração da farinha; (ii) Coordenada de cromaticidade a^* : varia entre a^* (+) tendendo para a tonalidade mais avermelhada até a^* (-) tendendo para a tonalidade mais verde; (iii) Coordenada de cromaticidade b^* : variando entre b^* (+) para a tonalidade amarelada até b^* (-) para a tonalidade azulada (CIE, 2004).

3.4.5 Peso do hectolitro

O peso hectolitro (PH) é um dos parâmetros utilizados para expressar indiretamente a qualidade dos grãos de trigo. Este índice refere-se a massa de 100 litros de trigo, que é expressa em kg hl^{-1} . Este parâmetro é influenciado pela uniformidade, forma, densidade e tamanho dos grãos, e também em função da quantidade de matérias estranhas e grãos avariados na amostra, sendo utilizado também para identificar a sanidade dos grãos (MIRANDA; MORI; LORINI, 2009). É considerado um teste rápido e indicador da qualidade. Mas ainda é difícil realizar inferências sobre um determinado tipo de trigo com finalidade de panificação, apenas utilizando esse parâmetro (GERMANI; MAZZARI, 1990). De maneira geral, sabe-se que quanto maior o valor do PH, maior a aceitação e valorização pelo mercado (MAZZUCO et al., 2002).

Além de ser um bom indicador da qualidade física dos grãos de trigo, é utilizado como um indicador para o rendimento de farinha, pois se correlaciona com a taxa de extração (MANLEY et al., 2009). Alguns trabalhos associam a medida do peso do hectolitro com o rendimento de farinha (GOODING; DAVIES, 1997; POSNER; HIBBS, 2005). Geralmente a redução do PH, é um reflexo de um longo período de armazenamento, em função do consumo dos componentes orgânicos dos grãos (FLEURAT-LESSARD, 2002). Os valores do PH vão indicar as perdas quantitativas totais, ocasionadas por processos de deterioração dos grãos, em função do metabolismo intrínseco, à atividade microbiana e as pragas relacionadas (SEOK-HO et al., 2008).

4 CAPÍTULOS

4.1 Potencial agrônômico de linhagens melhoradas de trigo adaptadas a região dos Campos Gerais

Resumo - A produção de trigo nacional é insuficiente para atender a demanda interna. Dessa forma, é importante o desenvolvimento de novas cultivares adaptadas aos ambientes de cultivo e com alto potencial de rendimento de grãos. Os objetivos deste estudo foram identificar linhagens melhoradas de trigo, com adaptação agrônômica e potencial produtivo de grãos para a região dos Campos Gerais. O experimento foi constituído por 50 genótipos, sendo 46 linhagens melhoradas de trigo do programa de melhoramento da UEPG e quatro genótipos testemunhas (L34, L38, Quartzo[®] e Safira[®]). Os genótipos de trigo foram submetidos às seguintes avaliações: vigor inicial, hábito de crescimento, ciclo vegetativo/reprodutivo, estatura de planta, massa de mil grãos e rendimento de grãos. Os dados das seis variáveis fenotípicas foram submetidos à análise de variância e de componentes principais. Foram estimados os parâmetros genéticos associados a cada variável. Foi realizada uma análise de agrupamento dos genótipos de trigo através da dissimilaridade genética pelo método UPGMA. A caracterização agrônômica demonstrou que a maioria das linhagens melhoradas de trigo possui hábito de crescimento ereto e semiereto, hábito ideal em cultivares modernas de trigo. Os parâmetros genéticos estimados demonstraram elevada variabilidade genética entre o conjunto de linhagens para as seis variáveis fenotípicas, indicando possibilidade de ganho com a seleção artificial. A análise de componentes principais reduziu o conjunto das variáveis em dois componentes principais explicando 70,8% da variância fenotípica total. Os coeficientes dos autovetores indicam que o CP1 foi mais relacionado com rendimento de grãos, potencial fisiológico e ao ciclo vegetativo e reprodutivo. O CP2 correlacionado à estatura de plantas e massa de mil grãos. Através da análise de agrupamento foi possível constatar a diversidade genética relevante entre as linhagens de trigo. O dendograma obtido a partir da caracterização agrônômica evidenciou a formação de três grupos e três linhagens isoladas. As análises realizadas comprovaram a existência de variabilidade genética entre as linhagens melhoradas de trigo, com destaque para as linhagens L44, L45, L48, L49, L65, L73, L74, L75, L77, L78, L79, L80, L84, L85, L88 e L89 com desempenho agrônômico adequado e elevado potencial genético para o rendimento de grãos.

Palavras chave: *Triticum aestivum* L.. Parâmetros genéticos. Rendimento de grãos. Diversidade genética

Agronomic potencial of wheat breeding lines adapted to the region of Campos Gerais

Abstract – Internal wheat production is insufficient to meet domestic demand. This way, it is important to develop new cultivated species adapted to the environments and with high potential of grain yield. The objectives of this study were to identify wheat breeding lines with agronomic adaptation and productive potential of grains for the Campos Gerais region. The experiment consisted of 50 genotypes, of which 46 breeding lines of UEPG breeding program and four control genotypes (L34, L38, Quartzo[®] and Safira[®]). The wheat genotypes were submitted to the following evaluations: initial vigor, growth habit, vegetative / reproductive cycle, plant height, mass of a thousand grains and grain yield. Data from the six phenotypic variables were submitted to analysis of variance and principal components. The genetic parameters associated to each variable. The cluster analysis of wheat genotypes were estimated through genetic dissimilarity using the UPGMA method. The agronomic characterization showed that most of the wheat breeding lines have an erect and semiret growth habit, an ideal habit in modern wheat cultivars. The genetic parameters estimated showed high genetic variability among the set of lines for the six phenotypic variables, indicating the possibility of gain with the artificial selection. Principal components analysis reduced the set of variables in two main components, explaining 70,8% of the total phenotypic variance. The eigenvector coefficients indicate that CP1 was more related to grain yield, physiological potential and to the vegetative and reproductive cycle. The CP2 correlated with the height of the plants and the mass of a thousand grains. Through the cluster analysis it was possible to verify the relevant genetic diversity between the wheat lines. The dendrogram obtained from the agronomic characterization evidenced the formation of three groups and three isolated lines. Genetic variability among the wheat breeding lines was observed, especially for the L44, L45, L48, L49, L65, L73, L74, L75, L77, L78, L79, L80, L84, L85, L88 and L89 lines with adequate agronomic performance and high genetic potential for grain yield.

Key words: *Triticum aestivum* L.. Genetic parameters. Grain yield. Genetical diversity.

1 Introdução

Os grãos da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) são consumidos pela grande maioria da população mundial, sendo considerado de fundamental importância econômica (WALTER et al., 2009; UAUY, 2017). A produção mundial do cereal na safra de 2017/18 foi de aproximadamente 759 milhões de toneladas, ocupando a segunda posição, atrás apenas da cultura do milho (USDA, 2018).

No Brasil, além da produção ser considerada baixa, em torno de 4,3 milhões de toneladas na safra de 2017/18, atende apenas 50% da demanda interna, ficando muito aquém da produção registrada em outros países produtores de trigo (CONAB, 2018). Neste sentido, evidencia-se a necessidade de incrementar a produção nacional, principalmente, pelo desenvolvimento de novas cultivares adaptadas aos diferentes ambientes de cultivo e com maior potencial de rendimento de grãos.

Os programas de melhoramento em trigo em sua grande maioria são voltados para a identificação de variações naturais que auxiliam na agregação e no enriquecimento dos estoques genéticos (WANG et al., 2018). Grande parte dessa variabilidade genética é obtida principalmente em bancos ativos de germoplasma e em outros programas de melhoramento, que visam conservar esses recursos genéticos (MUJEEB-KAZI, 2006; BAENZIGER, 2016; TADESSE et al., 2016). Essa variabilidade genética é usada pelo melhorista de forma direcionada, buscando novos genes, como resistência a doenças, qualidade industrial dos grãos e potencial produtivo (DEPAUW; O'BRIEN, 2016).

Juntamente com a melhoria das práticas culturais, os programas de melhoramento, tem proporcionado progresso significativo na produção de trigo no país (BIUDES; CAMARGO, 2009). Uma das principais vias dentro do melhoramento de trigo é a obtenção de cultivares que possuam características agronômicas desejáveis, que vão refletir em uma maior adaptabilidade e estabilidade em condições de cultivo variadas, resultando em incrementos no potencial de produção de grãos (CAMPONOGARA et al., 2016).

Os genótipos que são recomendados para determinada região devem atender às exigências do mercado de forma competitiva, tanto no aspecto do cultivo quanto no industrial. Para isso, nos programas de melhoramento de trigo são avaliados um grande número de características fenotípicas (FEILLET, 2000), porém no momento da seleção ocorre uma grande dificuldade em identificar indivíduos/genótipos que apresentem desempenho superior para as características de maior interesse. Neste sentido, a utilização de técnicas multivariadas, no qual todas as variáveis são analisadas conjuntamente, torna-se indispensável

para a definição de grupos de genótipos superiores e divergentes a partir de um conjunto de características favoráveis para uma nova cultivar de trigo.

O presente trabalho teve como objetivo identificar a partir de ensaio de competição agronômica, linhagens melhoradas de trigo, obtidas do Programa de Melhoramento da UEPG, com adaptação agronômica e potencial produtivo para a região dos Campos Gerais, visando futuramente a recomendação de novas cultivares comerciais.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola “Capão da Onça” (FESCON) da Universidade Estadual de Ponta Grossa, situada a 990 m de altitude e localizada no município de Ponta Grossa – PR, nas coordenadas geográficas 25° 05′ 49″ S de latitude e 50° 03′ 11″ O de longitude. O clima da região é o subtropical úmido, mesotérmico do tipo Cfb (classificação de Köppen), com estações bem definidas, com temperatura média no mês mais quente de 21,5 °C e mínima no mês mais frio de 13,5 °C (FUNDAÇÃO ABC, 2018).

2.1 Material vegetal

A partir de cruzamentos artificiais gerados em 2004 entre diferentes cultivares de trigo recomendadas para a região dos Campos Gerais, formou-se o banco ativo de germoplasma de trigo da UEPG. No inverno de 2005 as sementes da geração F₁ foram cultivadas visando o avanço de geração e a produção de sementes na geração F₂. Desde 2007, populações da geração F₂ de diferentes cruzamentos bi-parentais vêm sendo trabalhadas através da seleção individual com teste de progênie, pelo método de condução Genealógico ou *Pedigree*. Nesse trabalho, foram avaliadas 46 novas linhagens endogâmicas de trigo (F₉) oriundas de oito diferentes cruzamentos de cultivares comerciais, com número variável de linhagens de trigo por cruzamento (Tabela 1).

2.2 Experimento de campo

A avaliação da adaptação agronômica e do potencial de rendimento de grãos à região dos Campos Gerais das novas linhagens de trigo foi realizada através de ensaio de competição na safra agrícola de 2017. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos aleatorizados com três repetições. A semeadura ocorreu no dia 02 de junho de 2017 de forma mecanizada, através da máquina semeadora/adubadora de parcelas da Semeato, modelo PS-8. As parcelas foram compostas por nove linhas com seis metros de comprimento, espaçadas 0,20 m nas

entrelinhas, com área de 10,8 m²/parcela. A população de plantas foi de 350 plantas aptas por m². O experimento foi constituído por 50 tratamentos, sendo 46 novas linhagens de trigo e quatro genótipos testemunhas (L34, L38, Quartzo[®] e Safira[®]). Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados mecanicamente, seguindo as recomendações técnicas para a cultura do trigo (RCSBPT, 1999). As parcelas experimentais foram colhidas mecanicamente com a colhedora de parcelas marca Wintersteiger modelo Classic. Foram colhidas as sete linhas centrais da parcela, totalizando uma área útil de 8,4 m².

Tabela 1 - Genealogia dos genótipos de trigo utilizados na caracterização agrônômica, no potencial produtivo e na qualidade industrial da farinha para panificação. Ponta Grossa, 2018.

Genótipos	Genealogia	Genótipos	Genealogia
L44	BRS220 / ÔNIX	L69	BRS210 / OR01
L45	BRS220 / ÔNIX	L70	BRS210 / OR01
L46	BRS220 / ÔNIX	L71	ALCOVER / BRS220
L47	BRS220 / ÔNIX	L72	ALCOVER / BRS220
L48	BRS220 / ÔNIX	L73	ALCOVER / BRS220
L49	BRS220 / ÔNIX	L74	ALCOVER / BRS220
L50	BRS210 / ÔNIX	L75	ALCOVER / BRS220
L51	BRS210 / ÔNIX	L76	ALCOVER / BRS220
L52	BRS210 / ÔNIX	L77	ALCOVER / BRS220
L53	BRS210 / ÔNIX	L78	ALCOVER / BRS220
L54	BRS210 / ALCOVER	L79	ALCOVER / BRS220
L55	BRS210 / ALCOVER	L80	ALCOVER / BRS220
L56	BRS210 / ALCOVER	L81	ALCOVER / BRS220
L57	BRS210 / ALCOVER	L82	ALCOVER / BRS220
L58	BRS210 / ALCOVER	L83	ALCOVER / BRS220
L59	BRS210 / ALCOVER	L84	ALCOVER / ÔNIX
L60	BRS210 / ALCOVER	L85	ALCOVER / ÔNIX
L61	ALCOVER / BH1146	L86	ALCOVER / ÔNIX
L62	ALCOVER / BH1146	L87	ALCOVER / ÔNIX
L63	ALCOVER / BRS2010	L88	ALCOVER / ÔNIX
L64	ALCOVER / BRS2010	L89	ALCOVER / ÔNIX
L65	ALCOVER / BRS2010	L34 (T)	ALCOVER / ÔNIX
L66	BRS210 / OR01	L38 (T)	BRS208 / ALCOVER
L67	BRS210 / OR01	Safira [®] (T)	PF9099 / OR1 // GRANITO
L68	BRS210 / OR01	Quartzo [®] (T)	ÔNIX / AVANTE

2.3 Avaliações de campo

As avaliações fenotípicas dos genótipos de trigo foram realizadas em ordem cronológica em relação ao estágio de desenvolvimento da cultura, conforme descrito a seguir:

- Vigor inicial (V): avaliado através da observação visual com distribuição qualitativa de notas aos diferentes genótipos (notas de 1 a 5, sendo 5 o maior vigor).
- Hábito de crescimento (HC): os genótipos foram avaliados no estágio de perfilhamento pleno quanto ao hábito de crescimento nas seguintes classes: ereto, semiereto, semiprostrado e prostrado.

- Ciclo vegetativo (DEF): número de dias da emergência ao florescimento (considerando-se mais de 50% das espigas emitidas);
- Ciclo reprodutivo (DEM): número de dias da emergência até a maturação fisiológica dos grãos (considerando-se mais de 50% das plantas com grãos na maturação fisiológica);
- Estatura de planta (EST): medida do solo até o ápice das espigas em metros, a partir da média de quatro plantas aleatórias da parcela;
- Massa de mil grãos (MMG): massa em gramas de 1000 grãos;
- Rendimento de grãos (REND): considerando a produção total de grãos da parcela, convertido para kg ha^{-1} .

2.4 Estimativas dos parâmetros genéticos

A partir das avaliações fenotípicas realizadas a campo dos caracteres agronômicos das linhagens melhoradas de trigo, foram estimados os parâmetros genéticos a partir da análise de variância, obtida no programa GENES versão 1990.2018.18 (CRUZ, 2016). As estimativas foram realizadas com o conjunto das 46 linhagens de trigo do programa de melhoramento de UEPG, utilizando-se as esperanças matemáticas dos quadrados médios (QM) das fontes de variação, de acordo com Vencovsky e Barriga (1992).

A estimativa da variância ambiental ($\hat{\sigma}_e^2$) foi obtida a partir do quadrado médio do erro experimental (QMe), onde $\hat{\sigma}_e^2 = \text{QMe}$. A variância genética ($\hat{\sigma}_g^2$) foi estimada através da fórmula $\hat{\sigma}_g^2 = \frac{\text{QML} - \text{QMe}}{r}$, onde o QML é o quadrado médio das linhagens e r é o número de repetições. A estimativa da variância fenotípica em função da relação entre a variância genética total e a variância ambiental dividida pelo número de repetições (r), através da fórmula $\hat{\sigma}_f^2 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{r} + \hat{\sigma}_g^2$. A herdabilidade no sentido restrito (h_r^2) foi estimada através da expressão $h_r^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2} * 100$, onde a variância genética ($\hat{\sigma}_g^2$) representa a variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_A^2$), pois as linhagens endogâmicas são representadas por genótipos em homozigose, sendo os desvios de dominância irrelevantes em relação à variância genética aditiva. Além disso, foi estimado o coeficiente de variação genética $\text{CV}_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{Y_0}$ e o coeficiente de variação do erro experimental $\text{CV}_e = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{Y_0}$, onde Y_0 representa a média geral original. Na sequência, foi estimado o quociente $\hat{b}$, a partir da relação $\hat{b} = \frac{\text{CV}_g}{\text{CV}_e}$ (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A estimativa do ganho esperado com a seleção foi realizada através da formula $GS = i \frac{\sigma_A^2}{\sqrt{\sigma_f^2}}$, em que o “ i ” representa o valor tabelado de acordo com a intensidade de seleção definida ($25\% = i = 1,271$) de acordo Becker (1986). O ganho com a seleção em porcentagem foi estimado pela expressão $GS (\%) = \frac{GS}{Y_0} * 100$.

2.5 Análise estatística

2.5.1 Análise de variância

Os dados coletados a campo foram submetidos à análise de variância para cada variável resposta através do programa GENES versão 1990.2018.18 (CRUZ, 2016). As análises foram realizadas a partir do seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \bar{e}_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} : observação referente ao genótipo i no bloco j ;

μ : constante inerente a todas as observações;

t_i : efeito de tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 50$);

b_j : efeito do bloco j ($j = 1, 2$ e 3);

$\bar{e}_{ij}$: erro aleatório associado à observação Y_{ij} .

2.5.2 Estatística Multivariada

2.5.2.1 Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais foi realizada a partir da padronização das médias dos tratamentos em razão das diferentes escalas métricas presentes nas variáveis, e posterior obtenção da matriz de correlação residual e dos autovetores, associados às variáveis avaliadas. A técnica dos componentes principais tem a vantagem adicional de avaliar a importância de cada variável resposta estudada sobre a variação total disponível entre os acessos avaliados (DAHER et al., 1997).

Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais, explicando a variabilidade total das variáveis originais e não correlacionadas, onde o primeiro tem maior importância, pois retém a maior parte da variação total contida nos dados originais. A importância do componente principal é determinada pela sua contribuição na proporção da

variância total explicada pelo componente. A soma dos primeiros autovalores representa a magnitude da informação retida de p para k dimensões. Essa informação pode decidir quantos componentes serão utilizados na análise para diferenciar os tratamentos.

A influência das variáveis sobre o componente principal é expresso em porcentagem e é dado por um autovetor ($\hat{a}_i^2$). Os escores são os valores dos componentes principais calculados para cada tratamento. Após a redução de p para k dimensões, os k componentes principais serão as novas variáveis. Assim, toda a análise de componentes principais foi realizada utilizando-se os escores dos respectivos componentes.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada a partir da função `princomp()` no software R Studio (RSTUDIO, 2012), para as variáveis resposta da caracterização agronômica dos genótipos de trigo. Para esta análise foi utilizada a matriz de correlação residual, obtida por meio da análise de variância realizada no programa GENES versão 1990.2018.18 (CRUZ, 2016).

2.5.2.2 Dissimilaridade entre genótipos e Agrupamento pelo método UPGMA

Para as análises multivariadas, a medida de dissimilaridade utilizada foi à distância quadrada generalizada de Mahalanobis (D^2), para os dados fenotípicos da caracterização agronômica, obtida através do software R Studio (RSTUDIO, 2012). Pelo pressuposto que os caracteres estudados apresentam certo grau de correlação, não sendo totalmente independentes. Sendo assim, esta medida possibilita quantificar a contribuição relativa dos caracteres para a divergência genética por meio das partições dos componentes de D^2 , referente a cada característica, da dissimilaridade total observada entre os genótipos avaliados (SINGH, 1981).

A partir da matriz de distância generalizada de Mahalanobis foi realizado o agrupamento dos genótipos pelo método UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Average*). Esse método de ligação média utiliza as médias aritméticas (não ponderadas) das medidas de dissimilaridade, evitando caracterizar a dissimilaridade por valores extremos entre os genótipos considerados. A construção do dendrograma foi estabelecida a partir das linhagens de menor dissimilaridade. O ponto de corte foi definido pelo método de Mojena (1977) que se baseia no tamanho relativo dos níveis de fusões ou distâncias no dendrograma. Essa análise foi realizada utilizando o software R Studio (RSTUDIO, 2012).

3 Resultados e discussão

3.1 Hábito de crescimento vegetativo

A cultura do trigo pode ser classificada quanto ao hábito de crescimento vegetativo em ereto, semiereto, semiprostrado e prostrado. Esta característica pode ser identificada no início do perfilhamento com densidade de semeadura normal (BORÉM; SCHEEREN, 2015). Cinco linhagens melhoradas do programa (L44, L47, L64, L68 e L78) destacaram-se apresentando hábito de crescimento ereto. A grande maioria das linhagens (31), além das testemunhas L34 e L38 foi classificada com hábito de crescimento semiereto (Tabela 2). As outras 10 linhagens e as duas testemunhas comerciais (Quartzo® e Safira®) com hábito de crescimento semiprostrado. Segundo Fontaneli (2007) as cultivares de trigo com hábito mais ereto apresentam os entrenós de maior comprimento. Por outro lado, hábito prostrado indica um encurtamento dos entrenós.

Tabela 2 - Hábito de crescimento vegetativo dos genótipos de trigo. Ponta Grossa, 2018.

Genótipos	Hábito Crescimento	Genótipos	Hábito Crescimento
L44	Ereto	L69	Semiereto
L45	Semiereto	L70	Semiprostrado
L46	Semiprostrado	L71	Semiereto
L47	Ereto	L72	Semiereto
L48	Semiereto	L73	Semiereto
L49	Semiereto	L74	Semiereto
L50	Semiereto	L75	Semiereto
L51	Semiereto	L76	Semiprostrado
L52	Semiereto	L77	Semiereto
L53	Semiereto	L78	Ereto
L54	Semiereto	L79	Semiereto
L55	Semiprostrado	L80	Semiereto
L56	Semiprostrado	L81	Semiprostrado
L57	Semiprostrado	L82	Semiereto
L58	Semiereto	L83	Semiereto
L59	Semiereto	L84	Semiereto
L60	Semiereto	L85	Semiereto
L61	Semiereto	L86	Semiprostrado
L62	Semiereto	L87	Semiereto
L63	Semiprostrado	L88	Semiprostrado
L64	Ereto	L89	Semiereto
L65	Semiereto	L34 (T)	Semiereto
L66	Semiereto	L38 (T)	Semiereto
L67	Semiereto	Safira®	Semiprostrado
L68	Ereto	Quartzo®	Semiprostrado

3.2 Estimativa dos parâmetros genéticos

A estimativa de parâmetros genéticos através dos componentes da variância fenotípica tem possibilitado aos melhoristas conhecer a base genética do germoplasma sob seleção bem como prever ganhos genéticos com a seleção artificial para características de

interesse agrônomo. A magnitude dos parâmetros estimados indica para aquela amostra de genótipos a possibilidade de sucesso na obtenção de populações melhoradas bem como situação favorável para a seleção artificial (VENCOVSKI, 1987).

As estimativas dos parâmetros genéticos evidenciaram para a maioria das variáveis (DEF, DEM, EST e MMG) variância genética ($\hat{\sigma}_g^2$) superior à variância ambiental ($\hat{\sigma}_e^2$). Entretanto, o inverso foi observado para o vigor (V) e para o rendimento de grãos (REND), confirmando a complexidade genética destas características, sendo controladas por vários genes de efeito menor e altamente influenciadas pelo ambiente (Tabela 3). Moghaddam et al. (1998) e Joshi, Thapa e Bhatta (2015) verificaram resultados semelhantes ao presente estudo, observando variância genética superior a ambiental para caracteres agrônômicos e o inverso para o rendimento de grãos. É de fundamental importância para o melhorista o desdobramento da variância fenotípica, nos componentes genético e ambiental, pois esses parâmetros irão auxiliar na escolha dos cruzamentos artificiais que potencializarão a maior variabilidade genética dentro das populações segregantes, permitindo a obtenção de ganhos genéticos com a seleção artificial.

Tabela 3 - Estimativa dos parâmetros genéticos das variáveis fenotípicas vigor inicial (V), ciclo vegetativo (DEF), ciclo reprodutivo (DEM), estatura (EST), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (REND), das 46 linhagens melhoradas de trigo. Ponta Grossa, 2018.

Parâmetros	V (nota)	DEF (dias)	DEM (dias)	EST (m)	MMG (g)	REND (kg ha ⁻¹)
$\hat{\sigma}_g^2$	0,09	12,50	11,94	0,0043	7,38	117981
$\hat{\sigma}_e^2$	0,24	0,13	0,19	0,0016	1,13	120439
$\hat{\sigma}_f^2$	0,17	12,54	12,00	0,0048	7,76	158127,4
$\hat{h}_r^2$ (%)	52,40	99,65	99,48	89,33	95,16	74,61
CVg (%)	8,54	4,56	2,94	6,84	6,80	8,58
$\hat{b}$	0,61	9,80	8,02	1,67	2,56	0,99
GS	0,27	- 4,48	- 4,38	- 0,07	3,36	377,09
GS (%)	7,18	6,13	3,87	7,78	7,75	8,61
Y_o	3,49	77,56	117,57	0,97	39,98	4.002,85
$\bar{Y}_m$	3,76	73,08	113,19	0,90	43,34	4.379,94
Mínimo	1,5	70,0	112	0,72	31,45	2.621,60
Máximo	5,0	86,0	124	1,15	46,80	5.117,20

CVg: coeficiente de variação genético. $\hat{b}$: quociente - relação CVg/CVe. $\hat{\sigma}_g^2$ variância genética aditiva. $\hat{\sigma}_e^2$: variância ambiental. $\hat{h}_r^2$: herdabilidade no sentido restrito. GS: ganho com a seleção. Y_o : média original. $\bar{Y}_m$: média melhorada.

O parâmetro genético considerado de maior importância dentro dos programas de melhoramento de plantas é a herdabilidade no sentido restrito ($\hat{h}_r^2$). Esse parâmetro é definido como a quantidade de variação fenotípica dentro de uma população que é advinda das diferenças genéticas individuais, ou seja, é a parte da variância fenotípica total que é atribuída às diferenças entre os genótipos, e que será transmitida para a próxima geração (MEANEY; TAYLOR, 2018). Através da predição dos ganhos genéticos e caracterização do potencial

agronômico de uma população segregante, é possível escolher os métodos mais eficientes de melhoramento e as técnicas mais apropriadas de seleção artificial (HALLAUER; MIRANDA, 1981).

As estimativas da herdabilidade no sentido restrito ($\hat{h}^2_r$) para as seis características avaliadas, evidenciaram uma amplitude de 52,4 a 99,7% (Tabela 3). As variáveis ciclo vegetativo (DEF), ciclo reprodutivo (DEM), estatura (EST) e massa de mil grãos (MMG) apresentaram herdabilidade superior à 89%, corroborando com os resultados obtidos por Fowler et al. (2016), Longin et al. (2013) para a cultura do trigo. Apesar de as características vigor inicial (V) e rendimento de grãos (REND), serem de herança mais complexa e, conseqüentemente, mais influenciada pelo ambiente (FERREIRA, 2010), os índices estimados de herdabilidade no sentido restrito foram de considerável magnitude, sendo de 52,4 e 74,6%, respectivamente (Tabela 3). Esses resultados apontam herdabilidade significativa para essas características. O efeito ambiental mais reduzido aliado a valores pronunciados de herdabilidade sugerem que o processo seletivo e os ganhos esperados com a seleção artificial podem ser mais eficientes dentro dos programas de melhoramento. Semelhantemente, Storck e Silva (2014), utilizando dados de produtividade de grãos de trigo obtidos em ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), com número de cultivares variando entre 27 e 55 em 11 locais nas safras de 2008 a 2011, também demonstraram coeficiente de herdabilidade satisfatório de 82% para o rendimento de grãos. Sarcevic et al. (2014) evidenciaram estimativas de herdabilidade acima de 76%, para o rendimento de grãos em trigo, sob condições de alto e baixo aporte de nitrogênio.

Mwadzingeni et al. (2016) estudando os componentes de variância e a herdabilidade de caracteres agrônômicos de cultivares de trigo sob condições de estresse hídrico, observaram baixa estimativa de herdabilidade para o rendimento de grãos (38,9%). Abdolshahi et al. (2015) estimaram a herdabilidade para características morfológicas de cultivares de trigo e obtiveram altos valores, como observados nesse estudo, para altura de plantas (79%), MMG (85%) e dias para o florescimento (85%). Por outro lado, para o rendimento de grãos os autores relataram herdabilidade inferior a 45%, principalmente em função do conjunto de genótipos estudados e do ambiente de avaliação.

O coeficiente de correlação genética (CV_g) e o quociente $\hat{b}$ são utilizados para auxiliar na confirmação dos dados e quantificar a variabilidade genética de uma população, para fins de melhoramento (SANTOS; NASPOLINI, 1986). O quociente $\hat{b}$ dado pela relação entre os coeficientes de variação genética e ambiental, indica a

possibilidade de sucesso com a seleção artificial. Valores do quociente $\hat{b}$ próximos de 1, representam que o componente genético está mais efetivo sobre o caráter avaliado do que o ambiental (CRUZ, 2010).

O parâmetro ganho genético esperado com a seleção também é uma ferramenta utilizada para prever o sucesso da seleção. Essa estimativa pode orientar o melhorista na manutenção ou descarte de determinada população sob seleção (CRUZ, 2010). O ganho vai depender do diferencial de seleção, que é a diferença entre a média da população original e a média da população melhorada e da herdabilidade da característica (VENCOVSKY, 1987), ou seja, o incremento potencial da média da população original. Os ganhos genéticos estimados com a seleção, utilizando um índice de seleção de 25%, evidenciaram uma amplitude de 3,87 (DEM) à 8,61% (REND) (Tabela 3). O maior ganho com a seleção foi observado para o rendimento de grãos (8,61%). Esse resultado indica que se 25% das melhores linhagens endogâmicas de trigo (maior potencial de rendimento) fossem selecionadas, o rendimento de grãos deveria aumentar em 8,61%, ou seja, um incremento de 379,94 kg ha⁻¹. De maneira geral, os resultados evidenciaram ganhos genéticos (%) consideráveis para todas as características estudadas neste conjunto de 46 linhagens melhoradas de trigo.

Segundo Farshadfar e Estehghari (2014), realizar a seleção adequada em características como ciclo reprodutivo e massa de mil grãos é importante, pois indiretamente conduz para o aumento do rendimento de grãos. Assim, se a característica sob seleção é geneticamente correlacionada com outra característica pode-se esperar também uma melhora na característica correlacionada. Desta forma, a melhoria de um caráter pode ser feita por seleção direta ou indireta. Follmann et al. (2017), relataram ganho genético médio de 2,86% ano⁻¹ pela avaliação de cultivares lançadas a partir de 1980.

3.4 Componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) visa facilitar a interpretação da diversidade genética existente entre um conjunto de genótipos em avaliação a partir das características agronômicas. As seis variáveis analisadas foram reduzidas a dois componentes principais (CP's), os quais foram responsáveis por explicar 70,8% da variância fenotípica existente (Tabela 4). Segundo Rencher (2002) é importante que pelo menos 70% da variância total seja explicada pelo primeiro e segundo componente principal. Gonzalez-Navarro et al. (2016) pesquisando sobre a variação nos padrões de desenvolvimento entre 27 linhagens elite de trigo e a relação dessas com o rendimento, componentes de rendimento e características

agronômicas, observaram que 60% da variância total foi explicada pelos dois primeiros componentes.

Tabela 4 - Estimativa dos autovalores (λ_j) associados aos componentes principais, importância relativa (λ_j %) e a variância fenotípica total acumulada (%). Ponta Grossa, 2018.

Componentes	λ_j	$\lambda_j(\%)$	% Variância acumulada
CP1	2,80	46,8	46,8
CP2	1,44	24,0	70,8
CP3	0,64	10,7	81,5
CP4	0,51	8,6	90,1
CP5	0,37	6,1	96,3
CP6	0,22	3,6	100,0

A variância explicada para cada um dos componentes principais apresentou autovalores de 46,8 (CP1) e 24% (CP2) (Tabela 4). Adicionalmente, levando-se em consideração os coeficientes autovetores dos respectivos componentes, pode-se inferir sobre as características que foram mais importantes na formação de cada componente principal. O sinal ligado aos autovetores (+ ou -) indica que os genótipos com maiores escores positivos vão ter efeito superior em variáveis com autovetores (+) e menor desempenho em características com autovetores (-).

Os valores dos autovetores para o CP1 indicaram que as características VIGOR (0,44) e REND (0,45) foram positivamente associadas, contrastando com as variáveis DEF (-0,47) e DEM (-0,54) negativamente associadas ao componente. Estas quatro variáveis tiveram maior importância na formação do CP1, contribuindo com 87,5% do total (Tabela 5). Dessa forma, os maiores escores positivos no CP1 indicam genótipos de trigo mais produtivos, com elevado potencial fisiológico e ciclo mais reduzido e os maiores escores negativos estão relacionados a genótipos de trigo mais tardios no ciclo. Para o CP2 os coeficientes dos autovetores de todas as variáveis analisadas foram negativamente associados, com destaque para EST (-0,65) e MMG (-0,68) que juntos contribuíram com 88,5% na formação do componente (Tabela 5). Assim, os genótipos que possuem melhores escores para o CP2 são aqueles que apresentam menor estatura associada a menor massa de grãos. Para os valores observados nos autovetores relacionados aos componentes principais, resultados similares foram relatados por Qaseem et al. (2017), Mishra et al. (2015), Khan et al. (2015) e Khodadadi, Fotokian e Miransari (2011). Neste sentido, verifica-se que o primeiro componente deve ser utilizado para identificar genótipos superiores, visando à seleção de linhagens de trigo que apresentem caracteres agrônomicos desejáveis, semelhante ao observado por Ajmal et al. (2013) e Boshev et al. (2016). O primeiro componente principal

sempre é o responsável pela variabilidade máxima nos dados em relação aos componentes subsequentes (LEILAH; AL-KHATEEB, 2005).

Tabela 5- Autovetores dos dois primeiros componentes principais e importância relativa das variáveis fenotípicas vigor inicial (V), ciclo vegetativo (DEF), ciclo reprodutivo (DEM), estatura (EST), massa de mil grãos (MMG), rendimento de grãos (REND) para a formação do componente principal. Ponta Grossa, 2018.

Variáveis	CP1		CP2	
	Autovetor	%	Autovetor	%
VIGOR (nota)	0,40	16,00	- 0,21	4,41
DEF (dias)	- 0,47	22,09	- 0,18	3,24
DEM (dias)	- 0,54	29,16	- 0,03	0,09
EST (m)	- 0,26	6,76	- 0,65	42,25
MMG (g)	0,18	3,24	- 0,68	46,24
REND (kg ha ⁻¹)	0,45	20,25	- 0,15	2,25

O desempenho das novas linhagens melhoradas e das testemunhas com relação às características agronômicas podem ser visualizadas no gráfico biplot (Figura 1). Foi possível realizar o agrupamento das linhagens em cinco grupos. As linhagens L45, L48, L49, L65, L73, L74, L75, L77, L78, L79, L80, L84, L88 e L89 foram agrupadas apresentando desempenho fenotípico similar, com elevado potencial de rendimento de grãos, alto vigor, ciclo mais precoce e menor estatura (Figura 1). Destaque positivo foi observado para as linhagens L44 e L85, superiores agronomicamente aos demais genótipos avaliados, permanecendo isolados do conjunto de genótipos estudados.

A localização do genótipo, ou seja, sua distância da origem do biplot mede como ele difere de um genótipo “médio” hipotético localizado na origem biplot, que possui um nível médio para todas as características (YAN; FREGEAU-REID, 2008). Os genótipos com maiores valores com relação às características avaliadas foram plotados mais próximos da linha e na direção do vetor correspondente ao caráter. A projeção dos vetores associados às variáveis demonstrou que os caracteres rendimento de grãos (REND) e vigor (V) estão altamente correlacionados, como também observado por Mishra et al. (2015). O grupo formado pelas linhagens L54, L62, L64 e L72, bem como pelas testemunhas advindas do programa de melhoramento da UEPG, L34 e L38, destacaram-se por apresentarem elevada MMG, embora estas linhagens possuam estatura elevada. Do lado oposto do gráfico estão agrupadas as linhagens L46, L50, L60 e L71, as quais apresentaram estatura mais baixa. Resultados obtidos por Qaseem et al. (2017) e Mishra (2015) na análise biplot para caracteres agronômicos e rendimento de grãos corroboram com os resultados alcançados nesse estudo.

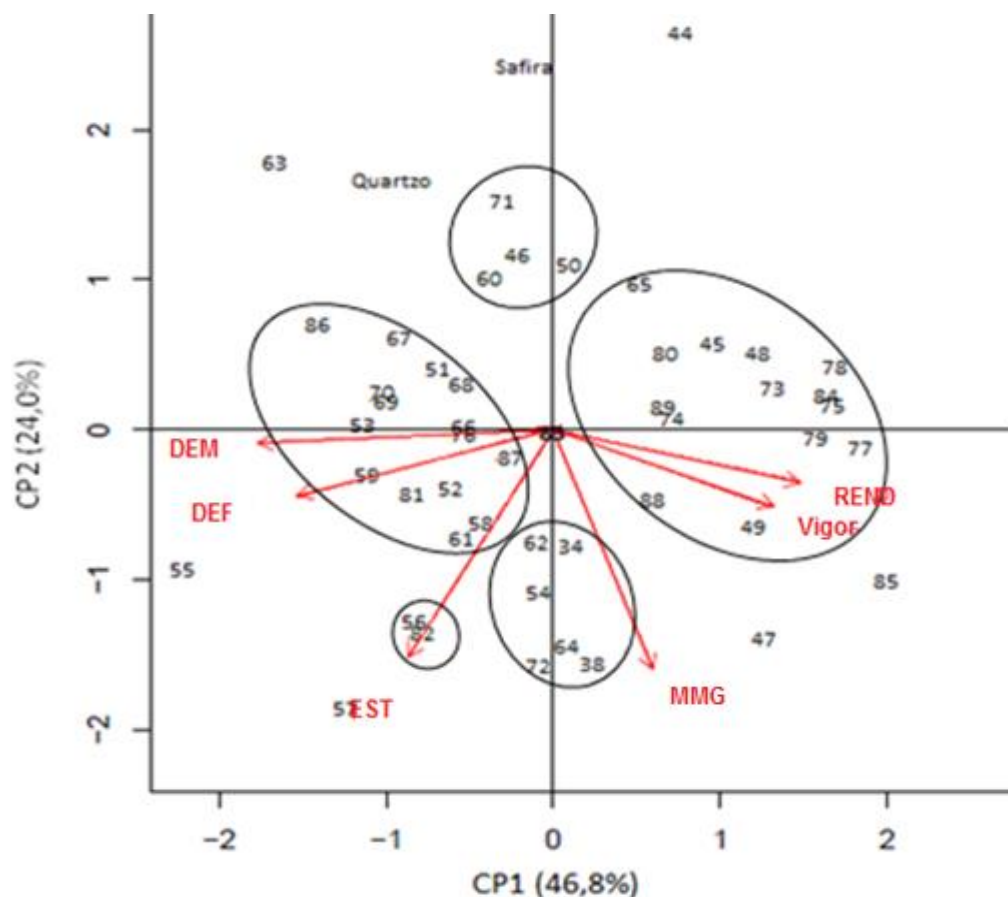


Figura 1 - Gráfico Biplot da análise de componentes principais, relacionando as variáveis fenotípicas vigor inicial (Vigor), ciclo vegetativo (DEF), ciclo reprodutivo (DEM), estatura (EST), massa de mil grãos (MMG), rendimento de grãos (REND) para os 50 genótipos de trigo. CP1: componente principal 1 e CP2: componente principal 2.

Distribuídas entre os quadrantes superior e inferior esquerdo do gráfico estão agrupadas 15 linhagens de trigo, com desempenho inferior, ou seja, ciclo mais longo, menor rendimento de grãos e baixa qualidade dos grãos ($< \text{MMG}$). As testemunhas comerciais Quartzo[®] e Safira[®] não se enquadraram em nenhum grupo formado, apresentando menor rendimento, qualidade dos grãos, ciclo intermediário e estatura média. Estes resultados destacam a superioridade das novas linhagens melhoradas do programa da UEPG, demonstrando que são promissoras com relação às características agrônômicas, podendo ser selecionadas, pois apresentaram excelente rendimento de grãos e boa adaptação para a região dos Campos Gerais.

Mediante as informações obtidas a partir da análise de componentes principais é possível identificar, as linhagens superiores, com características agrônômicas de maior destaque e adaptadas e que vão refletir em incremento no rendimento de grãos. Desta forma, faz-se necessário buscar em um genótipo melhorado o maior número de alelos favoráveis a partir de diferentes fontes utilizadas (BENIN et al., 2009).

3.5 Agrupamento pelo método UPGMA

As características morfológicas podem ser utilizadas para estimar a diversidade genética e no desenvolvimento de novas cultivares, pois auxiliam na quantificação da variação genética existente dentro de uma população (FUFA et al., 2005). Por princípio, a análise de agrupamento associa os genótipos que tenham alta homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos (JAYNES et al., 2003).

A análise de agrupamento dos genótipos de trigo pelo método UPGMA a partir dos dados da distância quadrada generalizada de Mahalanobis (D^2) possibilitou a formação de grupos de genótipos de acordo com o índice de dissimilaridade (Figura 2). Para determinar o número de grupos foi aplicado o método de Mojena (1977) que consiste num procedimento de cálculo baseado no tamanho relativo dos níveis de fusões ou distâncias no dendrograma. Utilizando a constante $K = 1,0$ determinou-se um ponto de corte no dendrograma em 9% da distância máxima observada nos níveis de fusão dos grupos (Figura 2). A partir deste ponto de corte foi possível a visualização de 4 grupos dissimilares geneticamente, resultado coerente com a topologia observada no dendrograma gerado pelo Método UPGMA (Figura 2). Alguns estudos similares com o intuito de estudar a diversidade genética em trigo a partir da análise de agrupamento relataram a formação de quatro grupos de genótipos (BARANWAL; MISHRA; SINGH; 2013; KHAN et al., 2015; LODHI et al., 2017).

O GI foi composto pelas linhagens L44 e L84, as quais se destacaram por apresentar em média ciclo mais precoce, de 73 e 114 dias para DEF e DEM, respectivamente, além da baixa estatura de plantas (0,82m), características adaptativas de interesse nos programas de melhoramento de trigo (Tabela 6 e Figura 2). O GII, constituído das linhagens L85 e L38 (T), evidenciou elevado vigor e a segunda melhor média para o rendimento de grãos 4.673,1 kg ha⁻¹ (Tabela 6 e Figura 2). No GIII, foram agrupadas a maioria das novas linhagens melhoradas (40) além da testemunha do programa L34, as quais apresentaram desempenho intermediário para a maioria das características analisadas. A linhagem L63 e a testemunha comercial Safira[®] foram agrupadas no GIV, entretanto, apesar de apresentarem estatura média de 0,91m, foram as que demonstraram ciclo mais tardio, com médias de 85 e 122 dias para DEF e DEM, respectivamente (Tabela 6 e Figura 2).

A testemunha comercial Quartzo[®] e as linhagens L79 e L60 não foram agrupadas, ficando isoladas dos demais genótipos. Destaque positivo deve ser dado à linhagem L79 que além de apresentar ciclo precoce (DEF 74 dias e DEM 115 dias) associado à baixa estatura (0,85 m), evidenciou a maior massa de mil grãos (43,9 g) e elevado rendimento de grãos (4.923,5 kg ha⁻¹) (Tabela 6 e Figura 2). O potencial produtivo superior associado à qualidade

de grãos tornam esta linhagem (L79) forte candidata a ser recomendada no futuro como nova cultivar para a região dos Campos Gerais.

O porte de plantas em trigo está diretamente relacionado com a resistência ao acamamento, principalmente quando se utiliza da maior densidade de plantas por unidade de área, bem como pelo incremento na quantidade de adubo (CONDÉ et al., 2010). Resultados semelhantes foram observados por Mishra et al. (2015) na avaliação da diversidade genética de 25 genótipos de trigo. Foi constatado, a partir da análise de agrupamento, um grupo constituído por cinco genótipos de alto porte e baixo potencial de rendimento de grãos. No mesmo trabalho, um grupo de oito genótipos apresentou alto vigor, menor porte e alto rendimento de grãos.

Diversos estudos foram realizados com base na metodologia de análise de agrupamento, com objetivo de discriminar os genótipos e observar a diversidade genética existente (FIGLIUOLO et al., 2007; HYSING et al., 2008; SOLEYMANIFARD; NASERI MEYSAM, 2012; ABBASABAD et al., 2017; TRETHOWAN et al., 2018). Dessa forma, os genótipos mais promissores, com características de alta produtividade, podem ser utilizados em esquemas de cruzamentos artificiais nos programas de melhoramento. Khadadadi, Fotokian e Miransari (2011) estudando a diversidade genética de 36 genótipos de trigo a partir da análise de agrupamento verificaram a formação de sete grupos. Em um grupo composto por seis genótipos foi observado médias elevadas para os componentes do rendimento de grãos, associados a plantas de menor porte, resultaram em genótipos com rendimento de grãos superior.

A análise de agrupamento revelou a presença de diversidade genética entre os genótipos de trigo (Figura 2). Os resultados demonstraram a superioridade agrônômica da maior parte das linhagens melhoradas em relação às testemunhas comerciais, com destaque para características agrônômicas de interesse econômico para a triticultura nacional. De acordo com Schmidt et al. (2009), uma vez que o melhores genótipos visam acumular alelos favoráveis para o rendimento de grãos, as novas linhagens pertencentes ao programa de melhoramento da UEPG poderiam ser utilizadas como parentais em novos blocos de cruzamento, com a finalidade de obter populações segregantes com alta diversidade genética, características agrônômicas desejáveis e elevado potencial produtivo, possibilitando incrementar os ganhos com a seleção artificial no programa de melhoramento genético de trigo.

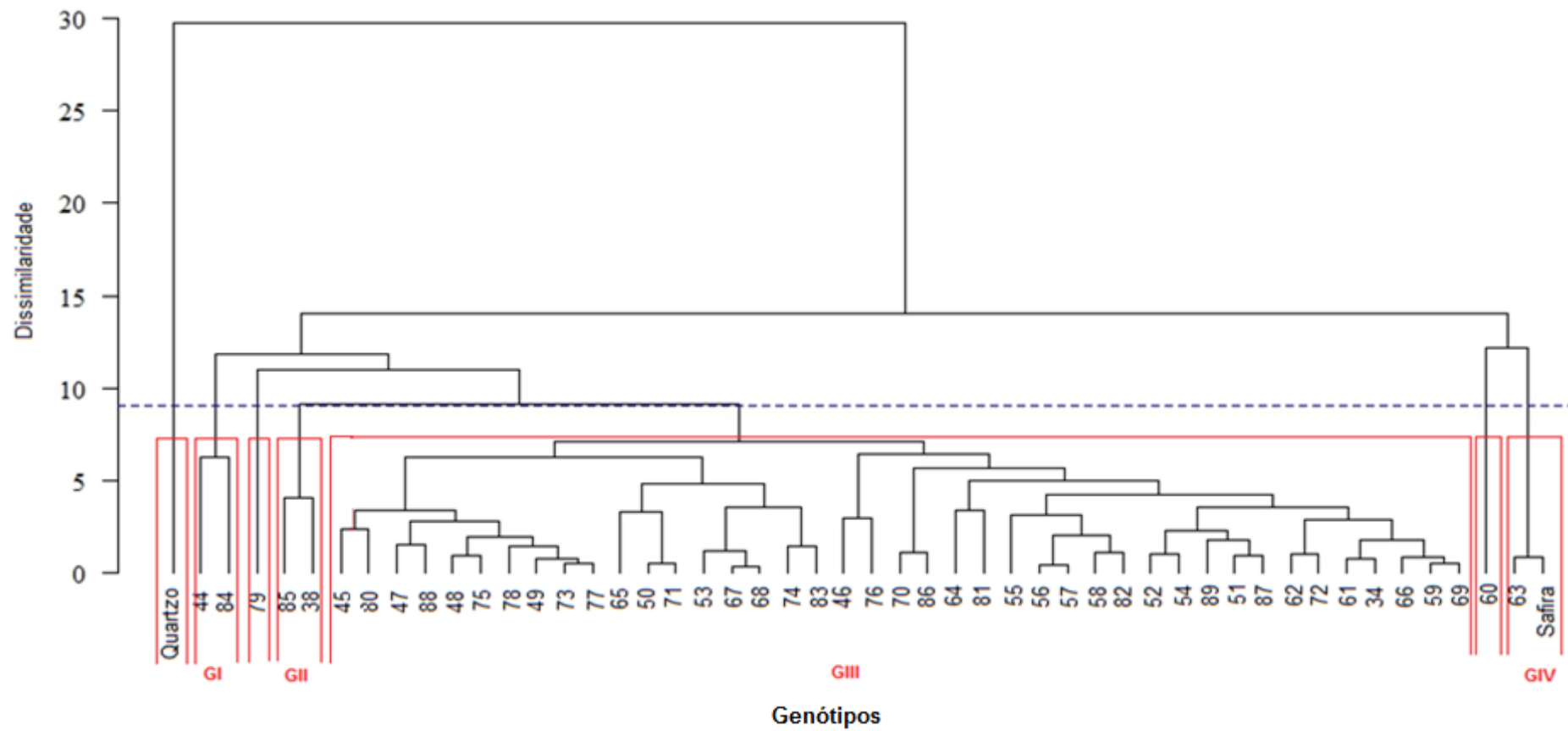


Figura 2 - Dendrograma produzido a partir da dissimilaridade genética existente entre os 50 genótipos de trigo através da caracterização agrônômica. Ponta Grossa, 2018.

Tabela 6 - Desempenho médio das seis variáveis fenotípicas para cada grupo de genótipos obtido pelo método de agrupamento UPGMA. Ponta Grossa, 2018.

Grupos	VIGOR	DEF (dias)	DEM (dias)	EST (m)	MMG (g)	REND (kg ha ⁻¹)
I	4,0	72,8	113,8	0,82	38,3	3797,6
II	4,4	76,0	116,0	1,04	40,4	4673,1
III	3,5	77,8	118,0	1,00	40,3	3975,7
VI	3,2	84,7	122,3	0,91	32,3	3886,0
Quartzo [®]	2,8	84,0	122,0	0,92	33,6	3791,7
L79	3,5	74,0	115,0	0,85	43,9	4923,5
L60	3,1	79,3	115,0	0,99	34,1	3966,5

VIGOR: vigor inicial, DEF: ciclo vegetativo, DEM: ciclo reprodutivo, EST: estatura, MMG: massa de mil grãos, REND: rendimento de grãos.

As linhagens L44, L45, L48, L49, L65, L73, L74, L75, L77, L78, L79, L80, L84, L85, L88 e L89 destacaram-se positivamente em relação ao desempenho agrônômico e ao potencial genético para o rendimento de grãos em relação às demais linhagens e testemunhas avaliadas. Desta forma, estas novas linhagens melhoradas pertencentes ao Programa de Melhoramento da UEPG apresentam os quesitos necessários para serem conduzidas em ensaios de VCU, visando à futura recomendação como novas cultivares adaptadas à região dos Campos Gerais.

4.2 Prospecção em linhagens melhoradas de trigo para qualidade industrial de panificação

Resumo - A farinha de trigo destinada às indústrias de panificação deve atender requisitos mínimos de qualidade industrial. Para alcançar a melhor rentabilidade é necessário a recomendação de cultivares melhoradas que se enquadrem dentro dos padrões requeridos pela indústria moageira. Neste contexto os objetivos deste trabalho foram prospectar linhagens melhoradas do programa de melhoramento da UEPG, com elevada qualidade reológica para panificação. Foram estudadas 46 linhagens melhoradas e 4 testemunhas (L34, L38, Quartzo[®] e Safira[®]). Após a determinação do peso do hectolitro dos genótipos, procedeu-se a moagem experimental para obtenção da farinha. A partir da farinha foram determinados os seguintes parâmetros de qualidade industrial: rendimento de moagem (RM); índice de glúten (IG); glúten úmido (GU); glúten seco (GS); número de queda (NQ) e cor da farinha (COR). A análise de alveografia foi realizada para 24 genótipos, dos quais 23 linhagens melhoradas e uma cultivar testemunha (Quartzo[®]), escolhidos com base nos resultados da análise de componentes principais, para o rendimento de grãos, número de queda e peso do hectolitro. Os dados coletados das variáveis de qualidade industrial foram submetidos à análise de variância e ao agrupamento de médias de Scott e Knott a 5%. A partir dos dados da qualidade industrial da farinha dos 50 genótipos de trigo foram submetidos à análise de agrupamento pelo método UPGMA. As estimativas dos parâmetros genéticos com base nas características de qualidade industrial da farinha evidenciaram elevada variabilidade genética entre as linhagens melhoradas de trigo, indicando possibilidade de ganho genético com a seleção artificial. Para o peso do hectolitro, 27 linhagens melhoradas do programa da UEPG se enquadraram na classificação para trigo tipo 1. Para o número de queda seis linhagens demonstraram NQ > 337 s, indicando valores ótimos. Com relação ao rendimento de moagem 28% das linhagens foram classificadas como muito boas (66 a 68%). Os resultados do índice de glúten evidenciaram que 23 linhagens melhoradas se destacaram com IG > 90%. Para os parâmetros glúten úmido e seco todos os genótipos se encontram na faixa ideal de 24 a 36% e 7,5 a 14%, respectivamente. As linhagens melhoradas L84 e L70 demonstraram a maior brancura da farinha com L* > 93. Os resultados das análises de alveografia e de agrupamento, destacaram positivamente a linhagem L57, com excelente qualidade de farinha, sendo classificada como trigo melhorador. De maneira geral, os resultados demonstraram que as linhagens do programa de melhoramento genético da UEPG L44, L45, L64, L65, L74, L76, L78, L79 e com maior destaque para a L57, poderiam no futuro ser recomendadas como cultivares comerciais com alta qualidade industrial para a panificação.

Palavras chave: Parâmetros genéticos. Rendimento de moagem. Índice de glúten. Número de queda. Alveografia.

Prospection in wheat breeding lines for industrial baking quality

Abstract - Wheat flour intended for the bakery industry must meet minimum industrial quality requirements. To reach a best profitability it is necessary to recommend breeding cultivars that fits the standards required by the milling industry. The objectives of this study were to prospect breeding lines of the UEPG breeding program, with high rheological quality for baking. We studied 46 breeding lines and 4 controls (L34, L38, Quartzo® and Safira®). After determination of the test weight of the genotypes, the experimental milling was done to obtain the flour. From the flour, the following industrial quality parameters were determined: milling yield (MY); gluten index (GI); wet gluten (WG); dry gluten (DG); falling number (FN) and flour color (COLOR). Alveograph analysis was performed for 24 genotypes, of which 23 breeding lines and one control cultivar (Quartzo®), chosen based on the results of principal components analysis, for grain yield, falling number and test weight. The data collected from the industrial quality variables were submitted to analysis of variance and the grouping of means of Scott and Knott at 5%. From the industrial quality data of the flour of the 50 wheat genotypes were submitted to the cluster analysis by the UPGMA method. Estimates of the genetic parameters based on the industrial quality characteristics of the flour evidenced a high genetic variability among the wheat breeding lines, indicating the possibility of genetic gain with the artificial selection. For the test weight, 27 breeding lines of the UEPG program fell into the classification for wheat type 1. For the falling number of fall six lines showed FN > 337 s, indicating optimal values. Regarding the milling yield, 28% of the lines were classified as very good (66 to 68%). The results of the Gluten Index evidenced that 23 breeding lines were highlighted with GI > 90%. For the wet and dry gluten parameters all genotypes are in the ideal range of 24 to 36% and 7.5 to 14%, respectively. The breeding lines L84 and L70 showed the greater whiteness of the flour with L * > 93. The results of the analyzes of alveograph and of cluster positively highlighted the lineage L57, with excellent quality of flour, being classified as wheat improver. In general, the results showed that the lines of the breeding program of UEPG L44, L45, L64, L65, L74, L76, L78, L79 and with greater emphasis on L57 could in future be recommended as commercial cultivars with high quality for baking.

Key words: Genetic parameters. Milling yield. Gluten index. Falling number. Alveograph.

1 Introdução

Com produção aproximada de 759 milhões de toneladas o trigo (*Triticum aestivum* L.) é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ficando atrás apenas do milho (FAO, 2018). Os grãos são destinados a diversas finalidades (consumo, ração, produtos industriais e biocombustíveis), contudo a principal utilização do cereal é para a produção de farinha, que é amplamente utilizada nas indústrias alimentícias (GAO et al., 2016). A qualidade da farinha de trigo direcionada para a panificação vai depender em sua grande parte da qualidade dos grãos, que são destinados a esse propósito (MISKELLY, 2017).

No Brasil, além do trigo produzido ser insuficiente para atender a demanda interna, os grãos obtidos normalmente caracterizam-se por apresentar qualidade inferior àquela exigida pela indústria da farinha. Neste sentido, é importante que se busquem técnicas que visem à melhoria da qualidade dos grãos de modo a satisfazer toda a cadeia tritícola, sendo que o principal recurso utilizado é através dos programas de melhoramento genético da cultura. Portanto, é fundamental o desenvolvimento de cultivares de trigo que atendam às necessidades de processamento e qualidade tecnológica das indústrias e produtos oriundos do processamento (GUZMAN et al., 2017).

Nas últimas décadas, os melhoristas têm concentrado esforços principalmente no aumento do potencial produtivo, deixando a qualidade dos grãos como objetivo secundário nos esquemas de seleção artificial dentro dos programas de melhoramento (BATTENFIELD et al., 2016). Todavia, é importante que essas características sejam trabalhadas de forma conjunta, pois de forma geral um rendimento mais elevado é a característica de maior interesse pelos produtores e uma melhor qualidade tem como objetivo agregar valor de mercado ao produto e cumprir as exigências das indústrias de moagem e panificação (SCHMIDT et al., 2009).

A qualidade tecnológica da farinha de trigo para panificação é considerada de herança genética complexa, ou seja, controlada por muitos genes (D'OVIDIO; MASCI, 2004). Além disto, a resposta à qualidade tecnológica em trigo depende da interação de fatores de manejo cultural, do tipo de solo, das condições climáticas e do genótipo da cultivar (KTENIOUDAKI; BUTLER; GALLAGHER, 2010). Os critérios para qualidade do trigo e da farinha têm evoluído continuamente em resposta aos avanços tecnológicos das indústrias, tanto na moagem quanto no processamento secundário. Dessa forma, é imprescindível que se realizem testes visando a avaliação das características de qualidade e aptidão industrial dos grãos e da farinha de trigo.

Para a determinação da qualidade industrial da farinha normalmente são empregadas análises físico-químicas e reológicas (SCHEUER et al., 2011). De maneira geral, os parâmetros utilizados para a classificação da qualidade industrial da farinha são o rendimento de moagem, o peso hectolitro, o teor de proteínas, a umidade e as propriedades reológicas como o teor de glúten, a atividade enzimática, a tenacidade, a extensibilidade, a elasticidade e a viscosidade, os quais são de fundamental importância na indústria de panificação. No Brasil a instrução normativa nº 38 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010) é utilizada como referência para classificar as cultivares de trigo com relação à força de glúten (alveografia), a estabilidade (farinografia) e o número de queda (falling number), em cinco classes: melhorador, pão, doméstico, básico e outros usos.

Assim, os objetivos deste trabalho foram prospectar a partir de um conjunto de linhagens melhoradas de trigo do programa de melhoramento da Universidade Estadual de Ponta Grossa a qualidade industrial da farinha destes genótipos para a panificação.

2 Material e Métodos

2.1 Obtenção da farinha

As análises de qualidade industrial da farinha de trigo para panificação foram realizadas no laboratório de qualidade de trigo da Fundação ABC, localizado na Cooperativa Frísia em Ponta Grossa, na Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB) e no Laboratório de trigo da Bunge. Foram analisados 50 genótipos de trigo, sendo 46 linhagens do Programa de Melhoramento da UEPG e 4 controles experimentais (L34, L38, Quartzo[®] e Safira[®]) (Tabela 1). Os genótipos foram submetidos a experimento de campo conforme descrito no item 2.2 do capítulo 1. O delineamento experimental foi o de blocos aleatorizados com três repetições. Foram amostrados 500 g de grãos (14% de umidade) de cada genótipo de trigo nas respectivas repetições, visando avaliar a qualidade industrial da farinha. Inicialmente, foi determinado a massa das amostras de grãos em balança Dalle Molle de acordo com as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992), seguido da conversão da massa em gramas para kg hL⁻¹ (Peso Hectolitro - PH).

As amostras de grãos foram submetidas à moagem experimental no Moinho CD1 Chopin[®] seguindo a metodologia padronizada nº 26-10 estabelecido pela AACC (1999). Inicialmente, procedeu-se a limpeza dos grãos por meio de peneiras e aspiração através do aparelho NSP Chopin[®]. A partir da determinação da umidade (Motomco 999ES[®]) e massa dos grãos foi calculada a quantidade necessária de água para umidecer as amostras, seguido

de repouso de 18h. Os grãos foram triturados, seguido da separação do farelo e da semolina, passando por três passos de redução da quantidade de semolina até a obtenção da farinha.

2.2 Estimativa da qualidade industrial da farinha

O rendimento de moagem (RM) foi representado através da porcentagem de farinha obtida em relação ao total de material obtido da moagem.

O teor de glúten foi determinado seguindo a metodologia padronizada nº 38-12 estabelecido pela AACC (2000). O glúten úmido foi obtido a partir do aparelho Glutomatic® 2200. Foram pesados 10 g de farinha branca e colocados na câmara de lavagem em recipiente com uma peneira de poliéster de 88 microns e 4,2 mL (adaptado) de solução de cloreto de sódio a 2%. A suspensão (farinha + cloreto de sódio) foi misturada por 20 s, seguido de lavagem automática por 5 min. A amostra de glúten úmido (GU) obtida após a lavagem completa foi transferida para uma peneira especial e centrifugado por 1 min a 6000 ± 5 rpm (Centrifuge® 2015). A fração que passou pela peneira foi coletada e pesada posteriormente, e a fração que restou no interior da peneira foi coletada para determinar o peso total do glúten úmido. A relação entre o glúten que atravessou a peneira e o glúten úmido total é o Índice de Glúten (IG). Na sequência, o glúten úmido total foi seco a 150 °C por 4 min (Glutork® 2020), seguido da pesagem em balança de precisão. Os resultados foram calculados na base de 14% de umidade.

$$\% \text{ Glúten Úmido} = \frac{(\text{GU} \times 860)}{(100 - U)}$$

$$\% \text{ Glúten Seco} = \frac{(\text{GS} \times 860)}{(100 - U)}$$

$$\% \text{ Índice de Glúten} = \frac{(\text{GUR} \times 100)}{(\text{GU})}$$

$$\text{Capacidade de absorção de água pela farinha} = (\% \text{ GU} - \% \text{ GS}) \times 100$$

Onde:

GU: Glúten úmido total em g;

GS: Glúten seco em g;

GUR: Glúten úmido retido na peneira em g;

U: Percentual de umidade da amostra (14%).

O número de queda (NQ) ou “Falling Number” (FN) foi estimado pela metodologia padronizada nº 56-81 da AACC (2000), através do equipamento Falling Number[®] (Perten Instruments, Suécia). A partir da farinha integral, foram pesados 7 g e transferidos para um tubo viscosímetro. Adicionou-se 25 mL de água destilada ao tubo, agitado até a obtenção de uma suspensão homogênea. O tubo viscosímetro juntamente com o agitador foi colocado no banho de água fervente, e logo após 5 segundos a agitação iniciou-se automaticamente. O agitador foi liberado na posição superior após 60 segundos, caindo sobre o próprio peso. O tempo total em segundos desde o início do movimento do aparelho até que o agitador caia a uma distância determinada foi registrado, sendo conhecida como Número de Queda (NQ).

A análise de alveografia seguiu a metodologia padronizada nº 54-30 da AACC (1999), através do Alveógrafo Chopin[®] (Villeneuve-la-Garenne Cedex, França). Para a realização dessa análise foram pesadas 250 g de farinha, misturando 129,4 mL de solução salina a 2,5%. A quantidade de água destilada utilizada foi determinada pela umidade da farinha (14%). A massa foi homogeneizada por 8 minutos na masseira, onde, posteriormente, ocorreu a modelagem da massa em cinco pequenos discos. Estas esferas ficaram em repouso no alveógrafo com temperatura de 25°C durante 20 minutos. Na sequência, os pedaços de massa foram inflados, podendo então ser estimados os parâmetros de qualidade de panificação. A pressão necessária para inflar a bolha produzida é registrada até o rompimento, sendo a curva chamada de alveograma. Desta curva foram obtidos os seguintes parâmetros: força de glúten (W), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação tenacidade/extensibilidade (P/L) e índice de intumescimento da massa (G).

A análise de alveografia foi realizada para 24 genótipos de trigo, dos quais 23 linhagens do programa e uma cultivar testemunha comercial (Quartzo[®]), que foram escolhidos com base nos resultados da análise de componentes principais, para o potencial de rendimento de grãos (kg ha^{-1}), número de queda (NQ) e peso do hectolitro (kg hL^{-1}).

A coloração da farinha foi obtida pela metodologia padronizada nº 14-22 da AACC (1999). A colorimetria (cor da farinha) foi realizada no aparelho Colorímetro Minolta CR410 (Tóquio, Japão). A leitura da cor da farinha foi expressa em CIELAB (L^* , a^* positivo e negativo e b^* positivo e negativo). Através do colorímetro realizaram-se três leituras na farinha de cada genótipo por meio da refletância. A cada dez amostras de farinha procedeu-se a aferição do colorímetro, numa placa de calibração ajustada, de modo a evitar a utilização do aparelho descalibrado.

2.3 Análises estatísticas

2.3.1 Análise de variância

Os dados de PH, RM, NQ, IG e COR relativos à qualidade industrial da farinha foram submetidos individualmente a análise de variância através do programa GENES versão 1990.2018.18 (CRUZ, 2016). As médias dos genótipos foram submetidas ao teste de agrupamento de médias de Scott e Knott a 5% de probabilidade. A análise de variância foi realizada seguindo o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \bar{e}_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} : observação referente ao genótipo i no bloco j ;

μ : constante inerente a todas as observações;

t_i : efeito de tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 50$);

b_j : efeito do bloco j ($j = 1, 2$ e 3);

$\bar{e}_{ij}$: erro aleatório associado à observação Y_{ij} .

2.3.2 Estimativas dos parâmetros genéticos

Foram estimados os parâmetros genéticos para as variáveis associadas a qualidade industrial (PH, RM, NQ, IG e COR) das 46 linhagens de trigo a partir da esperança matemática dos quadrados médios da análise de variância de acordo com Vencovsky e Barriga (1992), conforme descrito no item 2.4 do capítulo 1.

2.3.3 Análise multivariada

2.3.3.1 Dissimilaridade entre genótipos e Agrupamento pelo método UPGMA.

A partir da distância generalizada de Mahalanobis foi realizado o agrupamento dos genótipos de trigo pelo método UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Average*). Esse método de ligação média, utiliza as médias aritméticas (não ponderadas) das medidas de dissimilaridade, evitando caracterizar a dissimilaridade por valores extremos entre os genótipos considerados. A construção do dendrograma foi estabelecida a partir das linhagens de menor dissimilaridade, utilizando um ponto de corte (valor) definido pelo método de Mojena (1977), o qual baseia-se no tamanho relativo dos níveis de fusões ou distâncias no dendrograma. Essa análise foi realizada utilizando o software R Studio (RSTUDIO, 2012).

2.3.3.2 Distância entre genótipos baseada na Análise de Alveografia

Os dados obtidos para os 24 genótipos de trigo para os parâmetros força de glúten (W), relação tenacidade/extensibilidade (P/L), índice de elasticidade (Ie) e índice de intumescimento da massa (G) foram utilizados para a construção da matriz de distância Euclidiana. A partir da matriz obtida, procedeu-se a análise de agrupamento pelo método da ligação média entre grupos, baseado nas distâncias médias entre os genótipos mais distantes. O ponto de corte foi estabelecido pela análise visual das ramificações do dendrograma. A análise foi realizada no software R Studio (RSTUDIO, 2012).

3 Resultados e discussão

3.1 Estimativa dos parâmetros genéticos

A estimativa dos parâmetros genéticos é apresentada na Tabela 7. Verifica-se que a estimativa da variância genética $\hat{\sigma}_g^2$ foi mais elevada que a variância ambiental $\hat{\sigma}_e^2$ para as variáveis: peso do hectolitro (PH), número de queda (NQ), índice de glúten (IG) e cor da farinha (COR). Em contrapartida para o rendimento de moagem (RM) a variância ambiental foi maior que a variância genética, sugerindo que esse caractere possui herança complexa, predominando os efeitos do ambiente. Os resultados obtidos concordam com os realizados em outros estudos, onde grande parte das características relacionadas à qualidade de panificação evidenciou efeito ambiental relevante, devido à herança quantitativa dos caracteres (ZHANG et al. 2004; EIVAZI et al. 2006; BALLA et al. 2011; ASHRAF, 2014; AMIRI, et al., 2018).

A estimativa da herdabilidade no sentido restrito ($\hat{h}_r^2$) é um parâmetro de elevada relevância dentro dos programas de melhoramento, pois reflete a herança genética de um caráter de uma geração para outra, possibilitando estimar o ganho genético com a seleção artificial, quando associado a outros parâmetros genéticos (Afiah; Mohammad; Saleem, 2000; Ansari; Ansari; Khund, 2004). O resultado da estimativa da $\hat{h}_r^2$ para as variáveis associadas à qualidade de panificação foram considerados expressivos, com amplitude de 62,48 (RM) à 82,72% (PH) (Tabela7). Estes resultados confirmam a possibilidade real de ganho genético com a seleção para estas características de qualidade industrial a partir do conjunto de 46 linhagens melhoradas de trigo que foram estudadas. Mesmo que esses caracteres tenham, em sua grande maioria, herança quantitativa, sugerindo que vários genes atuam na expressão do fenótipo, de fato, estes coeficientes de herdabilidade no sentido restrito foram elevados, indicando um contraste genético evidente entre as linhagens de trigo bem como um efeito ambiental reduzido na coleta dos dados relativos às características relacionadas à qualidade

industrial. Sarcevic et al. (2014) relataram coeficientes de herdabilidade no sentido restrito elevados para as mesmas características em trigo de inverno sob alta e baixa disponibilidade de adubação nitrogenada em cobertura. Da mesma forma, Tonon (2010) estimou herdabilidade de 82% para a cor da farinha em trigo. Recentemente, Cabral et al. (2018) mapeando QTLs de caracteres agrônômicos em 193 genótipos duplo-haploides de trigo, no Canadá, obtiveram estimativas de herdabilidade expressivas, para o PH (96 %) e para o rendimento de moagem (76%).

Tabela 7- Estimativa dos parâmetros genéticos das variáveis peso do hectolitro (PH), rendimento de moagem (RM), número de queda (NQ), Índice de glúten (IG), coloração da farinha Cor: (L*) relacionadas a qualidade tecnológica de panificação, das 46 linhagens melhoradas de trigo. Ponta Grossa, 2018.

Parâmetros	PH (kg hL ⁻¹)	RM (%)	NQ (s)	IG (%)	Cor (L*)
$\hat{\sigma}_g^2$	1,35	2,79	567,90	30,49	0,15
$\hat{\sigma}_e^2$	0,84	5,03	533,54	24,77	0,11
$\hat{\sigma}_f^2$	1,63	4,47	745,74	38,74	0,19
$\hat{h}_r^2$ (%)	82,72	62,48	76,15	78,68	80,52
CVg (%)	1,48	2,58	7,72	6,18	0,42
$\hat{b}$	1,26	0,76	1,03	1,10	1,17
GS	1,34	1,68	26,43	6,23	0,44
GS (%)	1,69	2,52	7,89	6,52	0,47
Y _o	78,04	64,76	308,54	89,28	92,14
$\bar{Y}_m$	79,38	66,44	334,97	95,51	92,58
Mínimo	73,48	58,42	190	69,43	90,35
Máximo	82,01	74,16	364	99,65	94,26

CVg: coeficiente de variação genética, CVe: coeficiente de variação ambiental, CVg/CVe: coeficiente $\hat{b}$, $\hat{\sigma}_g^2$ variância genética aditiva, $\hat{\sigma}_e^2$: variância ambiental, $\hat{h}_r^2$: herdabilidade no sentido restrito. ** significativo a 1% de probabilidade, GS: ganho com a seleção, Y_o: média original, $\bar{Y}_m$: média melhorada.

A quantificação da variabilidade genética pode ser estimada pelo coeficiente de variação genética (CVg), que expressa em porcentagem da média geral a grandeza da variância genética existente (RESENDE; DUARTE, 2007). Os CVg para a maioria das características de qualidade industrial (PH, RM, NQ e IG) demonstrou variância genética considerável, indicando grande variabilidade genética indispensável para possibilitar o ganho com a seleção artificial (GS %) (Tabela 7). Para a cor da farinha, o CVg estimado foi muito baixo, indicando pequena variabilidade genética entre as linhagens de trigo.

O coeficiente $\hat{b}$ dado pela relação entre os coeficientes de variação genética e ambiental, indica a possibilidade de sucesso com a seleção artificial. Segundo Vencovsky (1987) valores desse parâmetro ≥ 1 , indicam situação muito favorável para a seleção artificial. Os resultados demonstraram que o coeficiente $\hat{b}$ foi superior a 1 para a maioria das variáveis associadas a qualidade industrial (PH, NQ, IG e COR) (Tabela 7). Esses resultados sugerem que quando a seleção artificial incidir sobre os genótipos superiores, os ganhos genéticos

tenderam a ser mais expressivos. O ganho genético estimado (GS %) com a seleção artificial para todas as características de qualidade foram relevantes com incremento percentual variando de 0,47 (COR) à 7,89% (NQ) (Tabela 7).

3.2 Análises de qualidade

Os resultados da análise de variância evidenciaram efeito altamente significativo de genótipos de trigo ($P < 0,01$) para todas as variáveis associadas a qualidade tecnológica para panificação: peso do hectolitro (PH), rendimento de moagem (RM), número de queda (NQ), índice de glúten (IG) e cor da farinha (COR) (Tabela 8). O efeito significativo de genótipos, reflete nas diferenças fenotípicas/genotípicas presentes neste conjunto de 46 linhagens melhoradas de trigo para a qualidade tecnológica para panificação. Os coeficientes de variação foram de baixa magnitude e adequados para a experimentação agrônômica, evidenciando precisão experimental adequada (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância, média e coeficientes de variação das variáveis relacionada à qualidade tecnológica de panificação. Ponta Grossa, 2018.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio – QM				
		PH (kg hL ⁻¹)	RM (%)	NQ (s)	IG (%)	COR (L*)
Blocos	2	2,99	12,39	1572,24	209,27	0,27
Genótipos	49	4,55**	15,19**	2147,49**	118,12**	0,56**
Resíduo	98	0,86	4,83	511,72	23,67	0,12
Média		78,02	64,61	309,47	89,92	92,12
CV (%)		1,19	3,40	7,31	5,42	0,38

G.L.: graus de liberdade, PH: peso do hectolitro, RM: rendimento de moagem, NQ: número de queda, IG: Índice de glúten, CV: coeficiente de variação. ** Significativo a 1% de probabilidade.

3.2.1 Peso Hectolitro, número de queda e rendimento de moagem

O peso do hectolitro é uma medida fundamental para a comercialização de grãos de trigo em diversos países, e de forma indireta pode indicar a qualidade dos grãos. Para esta variável o agrupamento de médias evidenciou no grupo estatístico superior, 29 linhagens melhoradas e as testemunhas comercial Quartzo[®] e L34 com valores de PH variando de 77,9 a 80,5 kg hL⁻¹ (Tabela 9). Considerando a Instrução Normativa nº 38 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010) (Anexo 2), os trigos do grupo 2 que são destinados a moagem e outras finalidades, são classificados em 3 tipos em função das condições físicas dos grãos na comercialização. Para ser classificado em tipo 1, superior em qualidade, é necessário que o PH mínimo seja de 78 Kg hL⁻¹. Sendo assim, 27 linhagens melhoradas e a cultivar comercial Quartzo[®], podem ser enquadradas no tipo 1. Outras 19

linhagens do programa, a cultivar comercial Safira[®] e as duas testemunhas do programa foram agrupadas no tipo 2 (75,0 a 77,9 kg hL⁻¹) e apenas a L55 foi ranqueada na classificação do tipo 3 (72,0 a 74,9 kg hL⁻¹) para o peso do hectolitro (Tabela 9 e Anexo 2). As linhagens melhoradas do programa L49 (80,5), L64 (80,3) e L74 (80,0), destacaram-se numericamente por alcançar um PH de no mínimo 80 kg hL⁻¹ (Tabela 9). De forma geral, grãos com maior PH possuem melhor aceitação no mercado comercial, porque refletem em qualidade superior (MAZZUCO et al., 2002; LYFORD et al., 2005; SUN et al., 2010). Segundo Simons et al. (2012) grãos de trigo com formato mais esférico são desejáveis, pois possuem normalmente valores de PH superiores.

Em trigos de primavera e inverno, Yabwalo et al. (2018) observaram o impacto das características morfológicas e da interação genótipo x ambiente no peso do hectolitro. Os autores verificaram que um dos principais responsáveis pela variação nos valores de PH é a densidade dos grãos. Essa medida pode ser utilizada de forma indireta, visando selecionar grãos com PH superior, quando se tem grandes quantidades de grãos a serem analisados, como por exemplo em cargas a granel. Determinaram que esse caráter tem pouca influência ambiental, embora na análise de mapeamento de QTLs constatou-se a existência de vários genes com efeitos menores para a expressão fenotípica (YABWALO et al., 2018).

O número de queda (NQ) tem como objetivo medir a atividade da enzima α -amilase. Atividade enzimática muito alta e/ou muito baixa, em relação ao valor requerido, leva a formação de produtos de qualidade inferior (Ostasiewicz; Ceglińska; Skowronek, 2009). Baixos valores do NQ determinam uma massa mole, originando um pão com o miolo pegajoso e dificuldade no corte. Por outro lado, NQ muito elevado, torna-se necessário, adição de amilase externa, e o produto final fica com textura interna seca e quebradiça (Cauvain; Young, 2009; Zarzycki; Sobota, 2015). Dessa forma, pães elaborados com farinha de atividade enzimática alta (NQ < 200 s) ou baixa (> 350 s) apresentam volume reduzido e características internas e externas indesejáveis ao mercado consumidor.

Os resultados da variável NQ, evidenciaram a formação de 4 grupos estatísticos. Do conjunto de genótipos de trigo avaliados, 19 linhagens melhoradas, além da cultivar comercial Safira[®] e da linhagem testemunha (L38) formaram o grupo estatístico superior, com NQ médio variando de 318,7 a 350,3 s (Tabela 9). Segundo Erekul et al. (2009), valores de NQ são considerados ótimos quando superiores à 250 s. Valores de NQ elevados, entre 300 a 350 s, sugerem baixa atividade enzimática, conferindo melhor qualidade à farinha de trigo. Por outro lado, valores inferiores a 200 s, indicam níveis elevados de atividade da α -amilase, levando a obtenção de farinha de baixa qualidade industrial (Deng et al., 2014). Amiri et al.

(2018) observaram que dos 78 genótipos de trigo avaliados, em condições sem estresse hídrico, 28 demonstraram NQ superior a 300 s, indicando uma farinha de alta qualidade, além disso, nenhum genótipo foi inferior ao limite de 200 s.

Tabela 9 - Distribuição dos genótipos de trigo nos grupos estatísticos de Scott e Knott para as variáveis, peso do hectolitro (PH), número de queda (NQ) e rendimento de moagem (RM). Ponta Grossa, 2018.

Genótipos	PH (kg hL ⁻¹)	NQ (s)	RM (%)
L49	80,5 a	332,3 a	66,6 a
L64	80,3 a	340,0 a	63,9 b
L74	80,0 a	318,7 a	62,7 b
L63	79,8 a	350,3 a	62,9 b
L52	79,4 a	243,0 d	62,9 b
L73	79,3 a	301,3 b	62,8 b
L76	79,2 a	319,0 a	63,2 b
L48	79,2 a	327,7 a	63,3 b
L77	79,1 a	293,0 b	66,0 a
L89	79,0 a	295,0 b	66,2 a
L72	78,9 a	305,3 b	63,8 b
L71	78,9 a	334,3 a	66,7 a
L85	78,8 a	305,7 b	64,9 a
L47	78,8 a	305,3 b	68,2 a
L78	78,8 a	329,0 a	65,1 a
L62	78,8 a	311,3 b	63,6 b
L57	78,6 a	322,7 a	62,9 b
L45	78,6 a	341,0 a	64,0 b
L75	78,5 a	288,0 c	63,6 b
Quartzo [®]	78,5 a	311,7 b	62,6 b
L65	78,5 a	333,3 a	63,8 b
L80	78,4 a	305,7 b	65,2 a
L60	78,2 a	300,0 b	63,1 b
L81	78,2 a	299,7 b	64,7 b
L46	78,2 a	311,3 b	65,2 a
L79	78,1 a	320,0 a	65,1 a
L53	78,1 a	332,0 a	66,8 a
L58	78,0 a	304,0 b	62,3 b
L86	77,9 a	281,7 c	69,3 a
L34 (T)	77,9 a	298,0 b	61,0 b
L84	77,9 a	247,0 d	68,4 a
Safira [®]	77,7 b	334,0 a	60,2 b
L69	77,7 b	285,3 c	64,3 b
L44	77,6 b	349,0 a	62,2 b
L87	77,5 b	311,0 b	68,5 a
L82	77,3 b	302,0 b	68,0 a
L56	77,3 b	299,3 b	65,8 a
L38 (T)	77,2 b	336,7 a	67,8 a
L83	77,2 b	339,7 a	60,6 b
L88	77,0 b	301,3 b	66,2 a
L54	76,9 b	331,0 a	60,5 b
L59	76,9 b	323,3 a	68,0 a
L66	76,7 b	310,3 b	62,6 b
L68	76,7 b	275,7 c	67,6 a
L51	76,7 b	302,7 b	63,3 b
L67	76,7 b	281,0 c	66,6 a
L50	76,3 b	337,7 a	63,9 b
L61	75,5 c	326,7 a	62,9 b
L70	75,0 c	213,7 d	65,2 a
L55	74,8 c	305,7 b	65,0 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade. (T): testemunha.

Schmidt et al. (2009) estimaram a variabilidade genética de 22 genótipos de trigo brasileiros através da análise de características de qualidade industrial. Desta análise, 12 genótipos demonstraram $NQ > 300$ s. Todavia, quatro desses genótipos apresentaram $NQ > 400$ s, reflete também em baixa qualidade da farinha. Pela Instrução Normativa nº 38 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010), dos 50 genótipos avaliados neste trabalho, 34 linhagens do programa de melhoramento e três testemunhas (Quartzo[®], Safira[®], L38) foram classificadas como trigo melhorador ($NQ > 300$ s). Onze linhagens e a testemunha L34, foram enquadradas nas classes pão ou domésticas ($NQ 220$ a 299 s), enquanto a L70 ($213,5$ s) foi identificada como trigo básico ($NQ 200$ a 219 s). As condições ambientais no período de maturação fisiológica dos grãos são importantes para o número de queda, pois com excesso de precipitação na fase de pré-colheita, pode ocorrer à germinação dos grãos na espiga (RAL et al., 2016). Esse fator faz com que a atividade enzimática seja elevada, levando a redução da qualidade dos grãos.

Os resultados apresentados demonstraram alta variabilidade fenotípica entre os genótipos de trigo para o número de queda. As linhagens melhoradas de trigo L44, L45, L50, L63, L64 e L83, se destacaram com valores de NQ altos, > 337 s (Tabela 9). Possivelmente, essas novas linhagens possuem genes para tolerância a germinação na espiga. Segundo Bassoi (2004) a germinação na espiga é um dos grandes problemas encontrados na produção de trigo, pois esse processo leva a mudanças fisiológicas, refletindo em aumento da atividade enzimática nos grãos. Diversos genes já foram identificados relacionados à germinação em pré-colheita (FLINTHAM, 2000; YANG et al., 2007; SUN et al., 2012). De forma geral, a dormência é um dos fatores mais importantes relacionados à germinação na espiga (LIU et al., 2013). Segundo Okuyama et al. (2013) a disponibilidade de cultivares recomendadas de trigo tolerantes à germinação na pré-colheita ainda é reduzida.

O rendimento de moagem (RM) em trigo visa determinar a taxa de extração da farinha, isto é, a proporção de farinha extraída em relação ao total de grãos processados (PINNOW et al., 2013). As propriedades físicas dos grãos como tamanho e forma, tem influência direta sobre o rendimento de moagem e as perdas no peneiramento, o que irá determinar a eficiência do processamento e o valor dos grãos (NUTTALL et al., 2017).

O rendimento médio de moagem obtidos para os genótipos de trigo são apresentados na Tabela 9. O grupo superior com RM variando de 64,9 a 69,9% agrupou 22 linhagens melhoradas e a testemunha L38. As cultivares comerciais, Quartzo[®] e Safira[®], foram reunidas com o restante das linhagens com valores de RM de 62,6 e 60,2%, respectivamente (Tabela 9). Segundo Guarienti (1996) o rendimento de moagem em trigo é classificado como: 66 a

68% bom rendimento de moagem, 60 a 62% para baixo potencial e < 59% muito baixo rendimento. Nesse estudo apenas 28% das novas linhagens de trigo se enquadraram na classificação para bom rendimento de moagem. Entretanto, para fins comerciais, a moagem com rendimento de farinha entre 45 a 65% se enquadram em farinhas com baixa contaminação por farelo, enquanto rendimentos entre 65 a 72% são relacionadas com concentrações de farelo mais elevadas (ATWELL, 2001).

Genótipos de trigo podem apresentar variações em função dos percentuais de endosperma, farelo e gérmen, refletindo no rendimento de extração da farinha (ATWELL, 2001). As camadas mais externas dos grãos e periféricas do endosperma compõem o farelo (HOSENEY, 1994). Esse vai fornecer indicativo de pureza da farinha, onde quanto mais escura a farinha maior a contaminação por farelo. De acordo com El Dash e Germani (1994) as propriedades da farinha mudam em função da alteração na quantidade que foi extraída dos grãos do cereal. Quanto maior o teor de extração, maior é o conteúdo de proteínas, lipídios, cinzas e fibras presentes na farinha, tendo influência sobre a qualidade tecnológica (CARSON; EDWARDS, 2009). Estresses relacionados a déficit hídrico e às diferenças de temperatura, não só afetará o rendimento de grãos (CARGNIN et al., 2006; SARTO et al., 2017; ELIA; SLAFER; SAVIN, 2018), como também vão influenciar no tamanho dos grãos, reduzindo-os e, conseqüentemente, diminuindo o rendimento de moagem. O percentual de extração da farinha pode ser influenciado pela quantidade de endosperma amiláceo, sendo afetado pelo tamanho e formato dos grãos (POSNER; HIBBIS, 2005).

3.2.2 Alveografia

A análise alveográfica da farinha tem como objetivo verificar a capacidade da farinha em sofrer um trabalho mecânico quando misturada com água (OURY et al., 1999). O primeiro parâmetro analisado refere-se à força de glúten (W), o qual está relacionado com a quantidade de proteínas presentes na farinha. De maneira geral, farinhas com maior força tendem a absorver mais água, refletindo em massas com maior hidratação e resistência, que tendem a crescer mais.

Para os genótipos analisados os valores de W variaram de 159 (L76) à $377 \cdot 10^{-4}$ J (L57) (Tabela 10). Segundo a instrução normativa n.º 38, de 30 de novembro de 2010, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010) as farinhas podem ser classificadas de acordo com a força de glúten em melhorador, pão, básico e doméstico. Neste sentido, destaque positivo deve ser dado à linhagem L57 que apresentou $W > 300 \cdot 10^{-4}$ J, a qual adequa-se à classificação como trigo melhorador. Por outro lado, 11 novas linhagens

melhoradas (L46, L47, L51, L63, L73, L74, L75, L77, L78, L79 e L80) além das duas testemunhas do programa (L34 e L38) e a cultivar comercial Quartzo® foram identificadas como trigo tipo pão ($W > 220 \cdot 10^{-4}$ J) (Tabela 10). O restante das linhagens analisadas apresentou valores de $W > 160 \cdot 10^{-4}$ J, sendo assim classificadas dentro do grupo de trigo doméstico. Apenas a linhagem L76 ($W > 100 \cdot 10^{-4}$ J) foi apontada como trigo tipo básico.

Willians et al. (1988) classificaram as farinhas em muito forte quando $W > 401$, forte entre 301 a 400; média forte, entre 201 a 300; média, entre 101 a 200; fraca, entre 51 a 100; e muito fraca $W < 50$. Considerando essa classificação as farinhas analisadas dos genótipos de trigo têm força de glúten entre média a forte (Tabela 10).

Resultados similares foram obtidos por Gutkoski et al. (2007) a partir do estudo do efeito do período de maturação nos grãos de trigo e por Gutkoski et al. (2008) ao avaliarem genótipos de trigo cultivados no cerrado, verificando classificação de trigo nas classes melhorador, pão e doméstico. Miranda, Mori e Lorini (2004) avaliaram a força de glúten de 22 genótipos de trigo em três regiões do Paraná. Os autores observaram grande variação dos valores entre as diferentes cultivares, mas não entre as diferentes regiões de cultivo.

Tabela 10 - Resultados da análise de alveografia para os parâmetros força de glúten (W), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação tenacidade/ extensibilidade (P/L), índice de elasticidade (Ie) e índice de intumescimento (G) para 24 genótipos de trigo. Ponta Grossa, 2018.

Genótipos	W (10^{-4} J)	P (mm)	L (mm)	P/L	Ie (%)	G (mL)
L45	204	105	47	2,23	55,4	15,3
L46	283	86	97	0,89	51,4	21,9
L47	243	61	137	0,45	56,5	26,1
L48	217	115	45	2,56	55,3	14,9
L51	293	119	59	2,02	66,2	17,1
L57	377	106	104	1,02	61,3	22,7
L62	188	113	41	2,76	47,1	14,3
L63	278	130	49	2,65	65,0	15,6
L64	171	97	48	2,02	42,7	15,4
L65	216	114	43	2,65	62,6	14,6
L71	218	108	48	2,25	58,0	15,4
L73	245	106	58	1,83	59,2	17,0
L74	242	108	55	1,96	59,8	16,5
L75	268	112	62	1,81	58,1	17,5
L76	159	102	38	2,68	0	13,7
L77	299	83	104	0,80	63,5	22,7
L78	287	85	95	0,89	63,5	21,7
L79	235	65	124	0,52	54,9	24,8
L80	229	91	75	1,21	52,8	19,3
L85	194	69	80	0,86	56,7	19,9
L89	179	105	40	2,62	51,5	14,1
L34 (T)	223	65	106	0,61	58,1	22,9
L38 (T)	251	105	65	1,62	55,6	17,9
Quartzo®	265	179	33	5,42	0	12,8

(T): testemunha.

De acordo com os resultados obtidos nos testes de alveografia a farinha de trigo obtida é destinada para a produção de diferentes tipos de produtos. Os biscoitos, por exemplo, necessitam de farinha com baixa força de glúten, já para a indústria de panificação as farinhas devem apresentar alta força de glúten (Anexo 4). Em função de o glúten ser determinado pela quantidade e qualidade das proteínas (gliadinas e gluteninas) e do seu conteúdo ser controlado por um grande número de genes, o parâmetro força de glúten (W) tende a sofrer grande influência do ambiente (RUIZ et al., 2005). Bornhofen et al. (2017) observaram entre os anos de 2005 e 2012, o ganho e a perda de qualidade, verificando os componentes genéticos e ambientais, em diferentes cultivares de trigo. O progresso genético estimado para a força de glúten foi de $1,3\% \text{ ano}^{-1}$, mas sendo contrabalanceado por um efeito ambiental de $- 0,78\% \text{ ano}^{-1}$.

A tenacidade (P) e a extensibilidade são outros parâmetros avaliados através da análise de alveografia. A tenacidade mede a pressão máxima exercida na expansão da massa, sendo expressa em mm, e reflete uma medida da capacidade de absorção de água pela farinha. Em contrapartida, a extensibilidade (L) representa a capacidade de expansão da massa, predizendo o volume do pão, juntamente com o teor de proteína (MÓDENES; SILVA; TRIGUEIROS, 2009). É importante que exista uma proporção entre os valores de P e L (relação P/L) para que seja obtida uma massa equilibrada. Além disso, esta relação deve estar associada ao valor de W, assim, é esperado que a farinha apresente alto potencial de panificação. A farinha com a relação P/L abaixo de 0,60 é classificada como de glúten extensível, ideal para a fabricação de bolos e biscoitos, de 0,61 a 1,20 de glúten balanceado, sendo utilizado para a produção de pães, e valores de P/L acima de 1,21 de glúten tenaz, sendo direcionado para massas alimentícias (GUARIENTI, 1996). Os resultados dessa característica são apresentados na Tabela 10. Dos genótipos avaliados, apenas as linhagens L47 e L79 apresentaram relação P/L abaixo de 0,60, estando enquadradas na classe de glúten extensível. As linhagens L46, L57, L77, L78, L85 e a testemunha L34 foram caracterizadas por possuir glúten balanceado, sendo essas linhagens ideais para a panificação (GUARIENTI, 1996; ORTOLAN, 2006; GUTKOSKI et al., 2011). As demais linhagens do programa (14) e as testemunhas L38 e Quartzo[®] apresentaram relação P/L superior a 1,21, sendo classificadas como farinhas de glúten tenaz.

O balanço das propriedades viscoelásticas é de extrema relevância e fundamental para determinar o uso final da farinha. Normalmente glúten com característica mais elástica é utilizado na indústria de panificação, por outro lado, farinhas com glúten menos elástico

direcionam-se para a fabricação de bolos e biscoitos (DOBRASZCZYK; MORGENSTERN, 2003).

De acordo com Guzman et al. (2016) a relação P/L é uma avaliação de grande importância dentro dos programas de melhoramento de trigo no CIMMYT, e é utilizado como um parâmetro de auxílio na seleção e na classificação interna para o destino final da farinha. Hernández-Espinosa et al. (2018) realizaram uma pesquisa com 54 genótipos de trigo do programa de melhoramento do CIMMYT observando características de uso final da farinha sob condições de estresse por seca e calor. Os autores relataram genótipos com relação P/L variando de 0,4 a 2,5, associando aos genótipos cultivados sob condições de estresse a produção de farinha com tipo de glúten tenaz. Segundo Zhang et al. (2004) e Li et al. (2013) as características de qualidade são controladas principalmente por fatores genéticos, mas a interação genótipo por ambiente também proporciona efeitos significativos.

O índice de elasticidade (Ie) está correlacionado com a recuperação da forma inicial após a deformação da massa. Este parâmetro permite uma melhor predição do desempenho reológico da massa usada na panificação industrial e na produção de biscoitos (KITISSOU, 1995). Esse índice varia de 25 a 75%, porém, para a indústria de panificação o Ie ótimo é de 50 a 55%, após a adição de ácido ascórbico (KITISSOU, 1995). Observa-se que as linhagens L45, L46, L48, L79, L80, L89 e L34 (T) encontram-se dentro da faixa considerada ótima para a panificação (Tabela 10). A farinha para pão deve ter as propriedades elásticas e extensíveis bem equilibradas, tendo extensibilidade suficiente para que o produto possa crescer sem ocorrer o achatamento.

O índice de intumescimento da massa (G) está diretamente relacionado ao volume do pão, sendo que resultados entre 20 e 23 mL indicam alta capacidade de extensão da massa e os maiores que 23 são melhores para a indústria de panificação. Conforme os valores obtidos, as linhagens L47 e L79 possuem potencial de panificação. Quatorze linhagens do programa de melhoramento da UEPG e as testemunhas L34 e Quartzo[®] ficaram abaixo do desejado. Isso demonstra que a massa advinda desses genótipos apresenta baixa capacidade de extensão, se rompendo facilmente.

3.2.3 Teor de glúten (Índice de glúten, glúten úmido e glúten seco)

Em função das proteínas do glúten (gliadinas e gluteninas), propiciarem a característica viscoelástica da massa, a quantidade e a qualidade desse parâmetro é um dos fatores de qualidade mais importantes da farinha do trigo (IONESCU et al., 2010). Os

resultados obtidos para a análise das farinhas referente ao teor de glúten seco, úmido e índice de glúten são apresentados na Tabela 11.

O índice de glúten (IG) é um dos melhores critérios para avaliar a qualidade do processamento do trigo, sendo geralmente mais adequado que o teor total ou o glúten úmido (DENG et al., 2005). As amostras de farinha dos genótipos avaliados apresentaram índice de glúten variando de 74,5 a 99,0%. As cultivares comerciais Quartzo e Safira, as testemunhas do programa (L34 e L38) e 26 linhagens não diferiram entre si, e foram estatisticamente superiores as demais linhagens avaliadas.

Segundo Curic et al. (2001) a faixa ideal para o IG está compreendida entre 75 a 90%. Entretanto, para Bonfil e Posner (2012), IG a partir de 55% é considerado adequado para a panificação, seguindo os padrões Israelenses. Montenegro e Ormenese (2006) classificaram a qualidade da farinha de trigo em função do IG, onde a farinha é identificada como: muito boa, IG > 90%; boa com IG entre 60 a 90%; média, entre 40 a 60% e fraca quando o IG < 40%. Seguindo essa classificação, a farinha de 23 linhagens e as testemunhas utilizadas seriam consideradas muito boas, e as demais 23 linhagens se enquadrariam como farinha com bom IG (Tabela 11).

Amiri et al. (2018), estudando 78 genótipos de trigo no Irã, sob presença e ausência de irrigação, demonstraram IG variando entre 42,7 a 96,0%. Katyal et al. (2016) realizaram a modelagem para testes de medição de qualidade utilizando 28 variedades de trigo Indianas, com alta e baixa força de glúten. Para o IG foi constatado uma variação entre 49 a 100%, entre as variedades avaliadas. Esse parâmetro foi melhor modelado pela capacidade de retenção de solvente, o qual é utilizado para avaliar as propriedades funcionais de cada componente da farinha.

Har Gil, Bonfil e Svoray (2011) realizaram a partir de um conjunto de 15 cultivares de trigo, uma análise em escala múltipla, visando verificar quais os fatores, como estresse hídrico, temperatura, irrigação e fertilização, que tinham maior influência na qualidade do trigo, a partir da avaliação do IG, na região norte de Neveg em Israel. Os autores observaram diferenças significativas de IG entre os genótipos, sendo que as médias das cultivares variaram de 44 a 93%. O IG é passível da influência das condições ambientais e de manejo da cultura (GARRIDO-LESTACHE et al., 2004; BONFIL; POSNER, 2012; OIKONOMOU et al., 2015; AMIRI et al., 2018). Porém, diversos autores citam que o componente genético é de maneira geral o mais relevante no controle do IG (CURIC et al., 2001; FOIS et al., 2011; HAR GIL; BONFIL; SVORAY, 2011; BONFIL; ABBO; SVORAY, 2015). De acordo com os resultados obtidos a variação existente do IG está relacionada ao efeito de genótipos. De

acordo com Sissons et al. (2005) a oscilação dos valores de IG estão associados ao conteúdo de glutenina não extraível e a razão gliadinas/gluteninas, pelo componente genético específico das cultivares.

Para o glúten úmido (GU) a análise de agrupamento de médias evidenciou a formação de quatro grupos estatísticos. No grupo superior, foi verificado 15 linhagens melhoradas do programa, com GU entre 33,6 a 35,6%. Por outro lado, as linhagens L63, L71, L84, L85, L86, L87, L88 e a testemunha comercial Safira[®] obtiveram desempenho inferior, com teor de GU abaixo de 29,2% (Tabela 11). Apesar disso, todos os genótipos avaliados apresentaram teor de glúten úmido ideal para panificação, na faixa de 24 a 36% (RIBEIRO, 2009).

Quanto aos teores de glúten seco, as médias dos genótipos de trigo variaram de 9,0 a 12,2%, dos quais 16 linhagens se destacaram com teor de GS superior a 11,3%. Segundo Ribeiro (2009) o teor de GS ótimo encontra-se na faixa de 7,5 a 14%. O teor de glúten úmido e seco são medidas quantitativas das proteínas formadoras do glúten, ou seja, o conteúdo proteico presente na farinha está diretamente relacionado a esses parâmetros (Bonfil; Posner, 2012; BONFIL; ABBO; SVORAY, 2015). Desta forma, as farinhas consideradas “fortes” possuem altos teores de glúten e as farinhas “fracas”, baixos teores de glúten (FARONI et al., 2007). Analisando esses parâmetros verifica-se que todos os genótipos avaliados de trigo se adequam à condição estabelecida.

Katyal et al. (2016) estudando a qualidade da farinha de 28 variedades de trigo indianos, observaram uma faixa de glúten úmido (GU) entre 21,6 a 36,7% e glúten seco (GS) de 6,9 a 11,9%, demonstrando uma correlação positiva entre esses parâmetros. Schalk, Koehler e Scherf (2018) utilizaram os testes de extensão em microescala para determinar as propriedades viscoelásticas da massa de trigo, com base no glúten úmido e na massa da farinha de trigo e relataram índices de glúten úmido de cultivares comerciais numa amplitude de 25,9 a 38,7%. Silva et al. (2015) observaram valores entre 14,0 a 23,5% para glúten seco e 25,7 a 37,4% para glúten úmido na avaliação de farinhas de trigo produzidas em moinhos na região nordeste.

Tabela 11 - Distribuição das linhagens de trigo nos grupos estatísticos de Scott e Knott para as variáveis índice de glúten (IG), glúten úmido (GU) e glúten seco (GS). Ponta Grossa, 2018.

Linhagem	IG (%)	GU (%)	GS (%)
L63	99,0 a	28,5 d	9,9 c
L84	98,7 a	26,0 d	9,0 d
L71	98,4 a	28,9 d	9,9 c
Safira®	98,3 a	28,2 d	9,8 d
Quartzo®	98,0 a	29,2 d	9,9 c
L44	97,9 a	30,0 c	10,4 c
L85	97,6 a	28,4 d	9,6 d
L65	97,4 a	31,4 b	10,7 b
L51	97,3 a	32,0 b	11,0 b
L57	96,6 a	31,6 b	10,9 b
L86	96,2 a	28,3 d	9,3 d
L34 (T)	94,3 a	31,3 b	10,7 b
L52	94,2 a	32,3 b	11,0 b
L87	94,1 a	28,0 d	9,5 d
L59	94,0 a	32,6 b	10,9 b
L38 (T)	93,4 a	31,1 c	10,5 c
L46	93,0 a	31,9 b	11,1 b
L74	92,7 a	34,5 a	11,5 a
L77	92,7 a	35,1 a	11,7 a
L89	92,6 a	29,2 c	10,1 c
L79	92,3 a	30,5 c	10,2 c
L88	92,2 a	27,2 d	9,3 d
L76	91,8 a	31,4 b	10,5 c
L75	90,7 a	34,5 a	11,6 a
L66	90,2 a	32,1 b	10,8 b
L64	90,1 a	31,7 b	11,5 a
L69	90,1 a	29,9 c	11,2 b
L45	89,6 a	34,3 a	11,5 a
L78	89,6 a	35,0 a	11,7 a
L58	89,2 a	30,8 c	10,5 c
L67	88,4 b	34,3 a	11,6 a
L80	87,5 b	31,0 c	10,5 c
L50	87,0 b	31,4 b	10,5 c
L49	86,9 b	31,7 b	10,7 b
L60	86,9 b	34,0 a	11,4 a
L70	86,7 b	31,6 b	10,4 c
L68	86,7 b	33,7 a	11,4 a
L73	86,0 b	34,8 a	11,4 a
L56	84,7 b	33,6 a	11,3 a
L55	84,5 b	35,1 a	11,8 a
L83	83,1 b	35,3 a	11,5 a
L54	83,1 b	33,7 a	11,6 a
L62	82,7 b	32,1 b	10,8 b
L82	82,2 b	32,8 b	11,1 b
L47	82,1 b	35,2 a	11,1 b
L53	80,2 b	33,2 b	11,3 a
L48	78,6 c	33,2 b	11,8 a
L61	78,5 c	33,3 b	11,1 b
L81	78,4 c	35,5 a	12,2 a
L72	74,5 c	32,5 b	10,8 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade. (T): testemunha.

De maneira geral, o IG é inversamente proporcional aos teores de GU e GS. Semelhante resultado foi observado por Hadnadev et al. (2015) e Katyal et al. (2016). Hadnadev et al. (2015) relataram que valores mais elevados de IG fornecem uma massa mais forte, e são relacionados a um menor teor de GU, em contrapartida as variedades que apresentam resultados mais elevados de GU, possuem IG mais reduzido e menor força da massa. A porcentagem de GU não demonstra a qualidade do mesmo, pois é um dado quantitativo. Para se realizar estimativas mais precisas da qualidade da farinha com base no teor de glúten, deve-se aliar o dado obtido de GU ao IG, que fornece dados qualitativos sobre a massa. Isso ocorre devido à quantidade relativa da fração gliadina, considerada o componente viscoso do glúten que contribui para a extensibilidade da massa, ou seja, maior conteúdo de gliadina menor IG e vice-versa (HADNADEV et al., 2015).

Segundo Scheuer et al. (2011) a determinação da qualidade e quantidade do glúten é uma ferramenta indispensável para o conhecimento do potencial da farinha, pois esse atua na retenção de gás na massa, proporcionando leveza aos produtos, refletindo a qualidade final relacionada a textura, a forma e a expansão da massa. Uma vez que, tanto o conteúdo de proteína quanto o glúten estão relacionados com a qualidade da farinha, é importante que o IG seja utilizado com cautela e associado a outros métodos para poder determinar de forma mais precisa a qualidade da farinha de trigo para a panificação (BONFIL; POSNER, 2012).

3.3.4 Cor

A cor da farinha de trigo é um parâmetro importante no que diz respeito à comercialização, visto que depende do perfil do consumidor final, por isso, deixou de ser uma avaliação visual, passando a fazer parte de um critério como controle de qualidade. De acordo com Ortolan (2010) considera-se a farinha de coloração branca quando esta apresenta valores de luminosidade (L^*) acima de 93, coordenada de cromaticidade a^* próxima a 0 (positivo ou negativo, $\pm 0,5$) e coordenada de cromaticidade b^* próxima a 8. De maneira geral, cada moinho normalmente estabelece padrões para a coloração das farinhas. Segundo Gutkoski et al. (2007), a coloração da farinha é avaliada basicamente pelos parâmetros de luminosidade (L^*) e intensidade de amarelo (b^*). A luminosidade vai ser influenciada pelo conteúdo do farelo ou presença de material estranho, enquanto a intensidade da coordenada de cromaticidade b^* , está relacionada com a quantidade de pigmentos carotenóides de cor amarela presentes na farinha. A tendência de coloração mais amarelada é importante para as indústrias na fabricação de massas. As variáveis relacionadas à coloração podem ser afetadas principalmente pelo genótipo, armazenagem dos grãos antes da moagem, grau de extração da

farinha, tamanho das partículas, tempo de estocagem, tratamento de branqueamento e condições climáticas no momento da pré-colheita (ORTOLAN, 2006).

Os valores médios do parâmetro de luminosidade variaram de 90,7 a 94,0 para os genótipos de trigo estudados (Tabela 12). Segundo a classificação proposta por Ortolan (2010), as linhagens L84 e L70 destacam-se em relação aos demais genótipos com luminosidade superior a 93 associada à cromaticidades a^* e b^* de - 0,26 e 8,9 e - 0,15 e 9,97, respectivamente, consideradas as farinhas de coloração mais branca entre as amostras estudadas. Resultados semelhantes foram observados por Sarcevic et al. (2014), ao avaliarem 139 linhagens endogâmicas recombinantes de trigo. Os autores relataram uma variação nos parâmetros de coloração de 90,7 a 92,1 para L, - 2,39 a - 1,44 para a cromaticidade a^* e de 7,9 a 10,0 para b^* . Para Miranda, Mori e Lorini (2004) a luminosidade tem relação direta com a qualidade da farinha, pois a intensidade da coloração branca (L^*), em geral para uso na panificação, é um fator desejável pelo mercado consumidor.

Katyál et al. (2016) demonstraram valores de L^* entre 92,2 a 94,6, cromaticidade a^* de 0,07 a 0,32 e cromaticidade b^* de 7,2 a 11,6 entre diferentes variedades de trigo Indianas. Os autores destacaram dois genótipos com L^* acima de 94, conferindo mais brancura a farinha. Adicionalmente, relataram que o L^* é inversamente proporcional ao teor de cinzas e de proteínas, assim como o parâmetro b^* . Por outro lado, a coordenada de cromaticidade a^* , que tende para a coloração vermelha, tem correlação positiva com o teor de cinzas. Isso indica que a farinha de coloração mais escura apresenta contaminação por farelo, tendo os minerais mais concentrados nas camadas mais externas dos cereais.

Segundo Gutkoski et al. (2008) a cor da farinha deixou de ser uma avaliação visual apenas e passou a ser incorporada nos testes de controle de qualidade em função da luminosidade da farinha sofrer influência direta do conteúdo de farelo ou de matérias estranhas. Adicionalmente, os fatores genéticos e a dureza dos grãos de trigo podem influenciar na proporção de minerais presentes nos grãos, pigmentos e atividade enzimática, refletindo diretamente na coloração da farinha obtida na moagem (ORTOLAN, 2006).

Tabela 12- Dados médios de coloração de farinha de 50 genótipos de trigo para os parâmetros luminosidade (L*), coordenada de cromaticidade a* (vermelho-verde) e coordenada de cromaticidade b* (amarelo-azul). Ponta Grossa, 2018.

Genótipos	L*	a*	b*	Genótipos	L*	a*	b*
L84	94,0 a	- 0,26	8,94	L54	92,1 c	0,14	10,27
L70	93,0 b	- 0,15	9,97	L82	92,2 c	- 0,36	11,75
L46	92,7 b	- 0,50	11,38	L47	92,1 c	- 0,33	11,39
L49	92,6 b	- 0,52	11,57	L38 (T)	91,5 c	0,43	9,73
L68	92,9 b	- 0,09	10,39	L73	92,1 c	- 0,84	14,29
L88	92,5 b	0,20	9,20	L53	92,0 c	- 0,14	11,22
L52	92,4 b	- 0,11	10,60	L85	92,0 c	0,26	9,69
L62	92,4 b	0,06	10,13	L51	92,0 c	- 0,03	11,36
L61	92,4 c	- 0,25	11,21	L56	92,0 c	0,51	9,03
L64	92,3 c	0,40	9,27	L81	92,0 c	- 0,06	12,22
L71	92,3 c	- 0,22	11,15	L89	92,0 c	0,45	8,82
L72	92,3 c	0,00	11,05	L77	92,0 c	- 0,70	13,54
L79	92,0 c	- 0,31	11,38	L86	91,9 c	0,35	9,39
L58	92,3 c	0,18	9,63	L65	91,9 c	- 0,01	10,89
L67	92,3 c	0,05	10,23	L75	91,9 c	- 0,88	14,48
Quartzo	91,7 c	0,03	11,30	L50	91,9 c	0,19	10,38
L69	92,2 c	- 0,12	10,80	L57	91,9 c	0,61	9,08
L66	92,2 c	0,04	10,11	L45	91,9 c	- 0,68	13,47
L63	92,2 c	- 0,18	11,43	L83	91,9 c	0,11	10,46
L44	92,2 c	- 0,29	11,32	L48	91,7 c	- 0,31	11,85
L59	92,2 c	0,35	9,54	Safira	92,2 c	- 0,04	10,84
L80	92,1 c	- 0,40	11,83	L76	91,7 c	- 0,34	12,89
L60	92,1 c	- 0,38	12,12	L78	91,6 c	- 0,78	14,54
L74	92,1 c	- 0,90	14,43	L34 (T)	91,5 c	0,43	9,73
L87	92,1 c	0,20	9,77	L55	90,7 c	0,64	9,78

(T): testemunha.

3.4 Agrupamento

3.4.1 Agrupamento com base no índice de dissimilaridade

O dendograma baseado no índice de dissimilaridade genética foi construído a partir da análise de agrupamento dos genótipos de trigo pelo método UPGMA utilizando os dados da distância quadrada generalizada de Mahalanobis (D^2). O corte no dendrograma foi estabelecido em 5,2% da distância máxima observa nos níveis de fusão dos grupos, o qual possibilitou a formação de 3 grupos de genótipos de trigo dissimilares geneticamente entre si (Figura 3).

O GI foi composto pelas linhagens L51, L49, L58, L55, L84, L50, L83, L64 e L74, as quais se destacaram por apresentar farinha com valor elevado de NQ (314,2 s), enquadrando-se na classe de pão melhorador (Tabela 13 e Figura 3). O valor médio de NQ observado para este grupo indica a possível presença de genes de tolerância à germinação na espiga, correlacionada à baixa atividade da enzima α -amilase. As linhagens L63, L56, L85, L52 e L68 foram agrupadas no GII e apresentaram elevado peso hectolitro (78,4 kg hL⁻¹) e

índice de glúten (92,4%). O GIII agrupou 29 linhagens melhoradas e as testemunhas (Quartzo[®], Safira[®], L34 e L38).

As linhagens L72, L86 e L57 não foram agrupadas e ficaram isoladas do restante dos genótipos. A L72 destacou-se com valor elevado de PH e NQ, entretanto, apresentou baixo índice de glúten, 74,5%, o que resulta em uma farinha mais fraca com baixa absorção de água, e, consequentemente, em uma massa mais leve e menos compacta. A L86 evidenciou rendimento de moagem superior (69,3%) quando comparada aos demais genótipos (Tabela 13 e Figura 3). Em geral genótipos que apresentam rendimento de moagem elevado, tendem a apresentar grãos mais duros e com maior acúmulo de farelo junto à farinha extraída (FELICIO et al., 2000; KUREK et al., 2015). Segundo Scheuer et al. (2011) as propriedades da farinha, como conteúdo proteico, cinzas, farelo, fibras vão variar em função da quantidade de farinha extraída dos grãos de trigo. A linhagem L57 revelou superioridade para a maioria das variáveis analisadas com destaque para PH de 78,6 kg hL⁻¹, NQ de 322,7 s e IG 96,6% (Tabela 13 e Figura 3). Essa linhagem apresenta elevado potencial quanto à qualidade industrial de farinha podendo ser utilizada em futuros esquemas de cruzamento visando o incremento de alelos favoráveis para esta característica.

Tabela 13 - Desempenho médio das variáveis peso do hectolitro (PH), rendimento de moagem (RM), número de queda (NQ), Índice de glúten (IG), coloração da farinha (COR), de qualidade de panificação para cada grupo de genótipos obtido pelo método de agrupamento UPGMA. Ponta Grossa, 2018.

Grupos	PH (kg hL ⁻¹)	RM (%)	NQ (s)	IG (%)	COR (L*)
I	78,0	64,1	314,2	89,9	92,2
II	78,4	64,8	294,8	92,4	92,2
III	77,9	64,7	311,0	89,5	92,1
L72	78,6	63,8	305,3	74,5	92,3
L86	77,9	69,3	281,7	96,2	91,9
L57	78,6	62,9	322,7	96,6	91,9

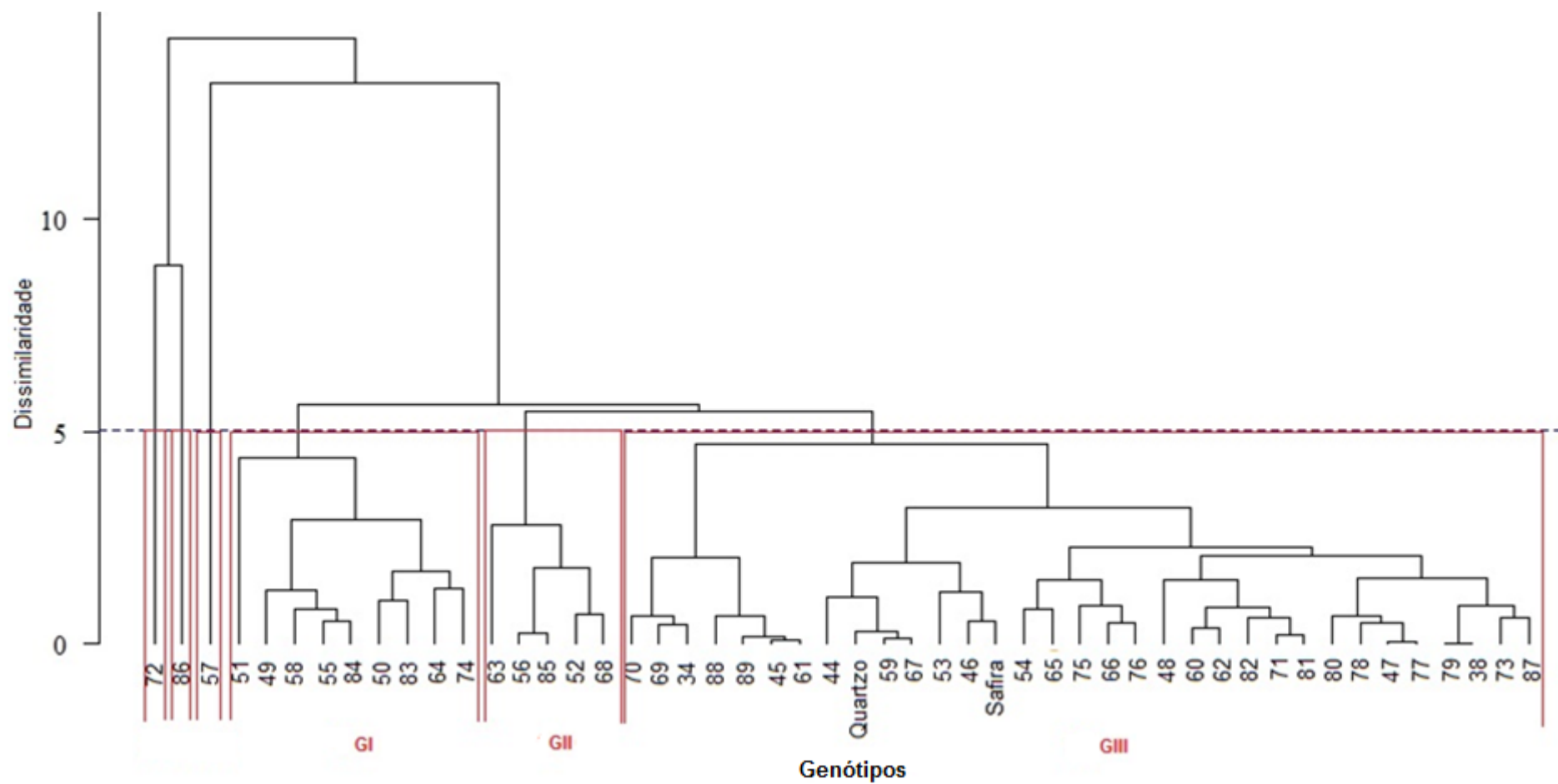


Figura 3- Dendrograma produzido a partir da dissimilaridade genética existente entre os 50 genótipos de trigo a partir das características de qualidade de panificação. Ponta Grossa, 2018.

3.4.2 Agrupamento para os dados de alveografia

A partir dos parâmetros estimados na análise de alveografia foi possível a obtenção de um dendrograma baseado nas distâncias euclidianas entre os 24 genótipos avaliados. A linha de corte foi estabelecida à 30% baseando-se na distância média entre grupos, possibilitando a formação de 4 grupos distintos (Figura 4).

Os resultados da análise de agrupamento são apresentados na Tabela 14 e Figura 4. No GI foram alocadas as linhagens L64, L62 e L89, as quais apresentaram desempenho médio inferior para a maioria dos parâmetros avaliados quando comparadas aos outros genótipos. Esses genótipos apresentaram farinha tenaz e baixa força de glúten que reflete em reduzida capacidade de absorção de água da farinha pelas proteínas formadoras do glúten (gliadinas e gluteninas), menor retenção do gás carbônico e menor resistência ao trabalho mecânico da massa (GUTKOSKI et al., 2007; OLÁN et al., 2010).

No GII quatro linhagens (L47, L73, L74 e L79) além da testemunha L38 foram agrupadas, apresentando valores médios considerados próximos do ideal para os parâmetros W ($243,2 \cdot 10^{-4}$ J), Ie (57,2%) e G (22,7 mL). A testemunha L34 e outras seis linhagens permaneceram agrupadas no GIII, evidenciando desempenho intermediário aos demais genótipos. Já no GIV foram alocadas as linhagens L46, L51, L63 L75, L77 e L78, as quais obtiveram valores próximos aos ideais para a maioria dos parâmetros avaliados. Novamente a linhagem L57 destacou-se com desempenho superior para todos os parâmetros da análise de alveografia. A força de glúten (W) demonstra a classificação desta linhagem como trigo melhorador ($W > 300 \cdot 10^{-4}$ J), sendo considerada uma farinha “forte” (Tabela 14). Farinhas com maior força de glúten tendem a apresentar coloração mais escura, como observado para essa linhagem (Tabela 13) (GUTKOSKI et al., 2007; RODRIGHERO et al., 2015).

O pão resultante da farinha de trigo da linhagem L57 tende a apresentar um volume adequado, textura mais sedosa e uma granulometria aberta (MODENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009). Esta classificação associada ao teor de glúten balanceado (P/L 0,6 a 1,2) e aos índices de elasticidade (61,3%) e de intumescimento da massa (22,7 mL) considerados dentro dos padrões ideais confere a esta linhagem elevado potencial para a produção de uma farinha de excelente qualidade reológica. As propriedades elásticas e extensíveis dessa farinha são consideradas bem equilibradas, com extensibilidade suficiente para que os pães cresçam com elasticidade necessária sem achatar, sendo apropriada para panificação.

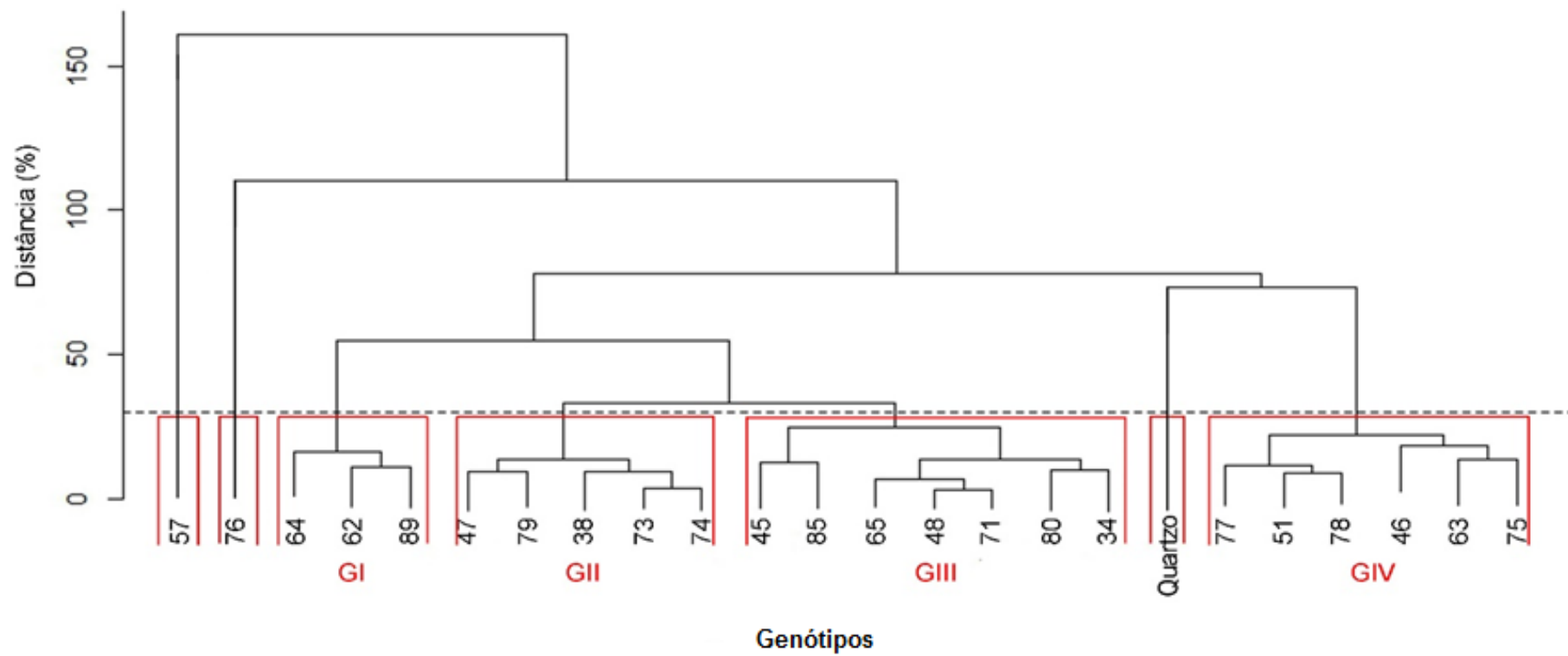


Figura 4 - Dendrograma produzido a partir das distâncias genéticas entre 24 genótipos de trigo a partir das características de alveografia. Ponta Grossa, 2018.

Tabela 14 - Desempenho médio dos parâmetros força de glúten (W), relação tenacidade/extensibilidade (P/L), índice de elasticidade (Ie), índice de intumescimento da massa (G) associados à análise de alveografia de 24 genótipos de trigo obtido pela distância média entre grupos. Ponta Grossa, 2018.

Grupos	W (10^{-4} J)	P/L	Ie (%)	G (mL)
GI	179,3	2,5	47,1	14,6
GII	243,2	1,3	57,2	20,5
GIII	214,4	1,8	57,0	17,5
GIV	284,7	1,5	61,2	19,4
L57	377,0	1,0	61,3	22,7
L76	159,0	2,7	0,00	13,7
Quartzo	265,0	5,4	0,00	12,8

5 CONCLUSÕES

A caracterização agronômica das linhagens de trigo do programa de melhoramento da UEPG evidenciou a existência de grande variabilidade genética entre o conjunto de linhagens para todas as características relacionadas à adaptação agronômica, ao potencial de rendimento de grãos e a qualidade industrial da farinha para panificação.

Os parâmetros genéticos estimados demonstraram para a maioria das características agronômicas e de qualidade tecnológica da farinha, efeitos pronunciados do componente genético em relação ao ambiental, refletindo em elevados coeficientes de herdabilidade no sentido restrito. Esses resultados indicam possibilidade de obter ganhos genéticos com a seleção artificial e provocar mudança favoráveis nas médias fenotípicas dos caracteres sob efeito de seleção.

Dois componentes principais (CPs) foram responsáveis por 70,8% da variância fenotípica associada à caracterização agronômica do conjunto de genótipos de trigo. O CP1 teve relação com o rendimento de grãos, potencial fisiológico e ciclo vegetativo/reprodutivo. E o CP2 associado diretamente à estatura de plantas e a massa de mil grãos.

As linhagens melhoradas L44, L45, L48, L49, L65, L73, L74, L75, L77, L78, L79, L80, L84, L85, L88 e L89, demonstraram excelente desempenho agronômico e potencial genético superior para o rendimento de grãos. Adicionalmente, as linhagens L44, L45, L64, L65, L74, L76, L78, L79 e com destaque principal para a L57, evidenciaram excelente qualidade industrial para parâmetros de panificação.

A disponibilidade no programa de melhoramento genético da UEPG de linhagens melhoradas de trigo com adaptação agronômica, elevado potencial para o rendimento de grãos e com excelentes parâmetros para a qualidade industrial para panificação, evidencia o potencial dessas novas linhagens para futuras recomendações como novas cultivares para a região dos Campos Gerais do Paraná.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC, American Association of Cereal Chemists. **Aproved methods**. 10 ed, 1999, 1.200 p.
- AACC, American Association of Cereal Chemists. **Official methods of analysis**. 10 ed. 2000, 1.200 p.
- ABBASABAD, Z. E.; MOHAMMADI, S. A.; MOGHADDAM, M.; KAMAL, M. R. J. Analysis of genetic diversity, population structure and linkage disequilibrium in Iranian wheat landraces using SSR markers. **Plant Genetic Resources**, v.15, n.4, p.327–334, 2016.
- ABDOLSHAHI, R. et al. Integrated selection criteria for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programs using discriminant analysis. **Field Crops Research**, v.174, p.20-29, 2015.
- ABITRIGO, Associação Brasileira da indústria de trigo. **Estimativa aparente de participação da farinha no mercado de derivados 2005 a 2012**. 2012. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/pdf/PART-MERCADO-FARINHA-DERIVADOS-2012.pdf>>. Acesso em: 06 de mai. de 2018.
- ACEVEDO, E.; SILVA, P.; SILVA, H. **Growth and wheat physiology, development**. In: CURTIS, B.C.; RAJARAM, S.; GÓMEZ-MACPHERSON, H (ed.). Bread wheat: improvement and production. FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). Plant Production and Protection, p. 1-47, 2002.
- AFIAH, S. A. N.; MOHAMMAD; N. A.; SALEEM, M. M. Statistical genetic parameters, heritability and graphical analysis in 8 x 8 wheat diallel crosses under saline condition. **Annals. Journal of Agricultural Science**, v.4, p.257-280, 2000.
- AGHAGHOLZADEH, R. et al. Characterization of wheat gluten subunits by liquid chromatography - Mass spectrometry and their relationship to technological quality of wheat, **Journal of Cereal Science**, v. 76, p. 229-235, 2017.
- AJMAL, S. U. et al. Multivariate analysis of genetic divergence in wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. **Pakistan Journal of Botany**, v.45, p.1643-1648, 2013.
- ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. 2. ed., New York: J. Wiley, 1961, 381 p.
- AMIRI, R. et al. Genetic diversity of bread wheat genotypes in Iran for some nutritional value and baking quality traits. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.24, p.147–157, 2018.
- AMORIM, G. Panorama internacional do trigo. **Análise conjuntural**, v.29, n.1-2, p.14, 2007.
- ANSARI, K. A., ANSARI, B. A.; KHUND, A. Extent of heterosis and heritability in some quantitative characters of bread wheat. **Journal of Plant Sciences**, v.3, p. 189-192, 2004.

ANTVORSKOV, J. C. et al. Dietary gluten and the development of type 1 diabetes. **Diabetologia**, v.9, p.1770-1780, 2014.

ASHRAF, M. Stress-induced changes in wheat grain composition and quality. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.54, p.1576–1583, 2014.

ABITRIGO, Associação Brasileira das indústrias do trigo. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/estatisticas.php>>. Acesso: 15 de abr. de 2018.

ATWELL, W. A. An Overview of Wheat Development, Cultivation, and Production. **Cereal Foods World**, vol.46, n.2, p. 59-62, 2001.

BAENZIGER, P. S. **Wheat Breeding and Genetics**. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, p.1-8, 2016.

BALLA, K. et al. Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. **Czech Journal of Food Sciences**, v.29, p.117–128, 2011.

BARANWAL, D. K.; MISHRA, V. K, SINGH T. Genetic Diversity Based on Cluster and Principal Component Analyses for Yield and its Contributing Characters in Wheat (*Triticum aestivum* L.). **The Madras Agricultural Journal**, v.100, n.4-6, p.320-323, 2013.

BASSI, F. M. et al. Breeding schemes for the implementation of genomic selection in wheat (*Triticum* spp.). **Plant Science**, v.242, p. 23–36, 2016.

BASSOI, M. C. Aspectos gerais da germinação pré-colheita e seu controle genético. In: CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F. **Germinação pré-colheita em trigo**. Embrapa Trigo, Passo Fundo, p.21-136, 2004.

BATTENFIELD, S. D. et al. Applying genomic selection for prediction of processing and end-use quality traits in CIMMYT spring bread wheat breeding program. **The Plant Genome**, v.9, n.2, p. 1-12, 2016.

BECKER, W. A. **Manual of quantitative genetics**. 4. ed. Washigton: Academic Enterprises, 1986, 196 p.

BEDO, Z.; LÁNG, L.; RAKSZEGI, M. **Breeding for Grain-Quality Traits**. In: WRIGLEY, C.; BATEY, I.; MISKELLY, D. (ed.). *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality*, v.2, p.425-452, 2017.

BENIN, G. et al. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1145-1151, 2009.

BIUDES, G. B.; CAMARGO, C. E. De O. Genótipos de trigo: características agronômicas em dois locais do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.873-884, 2009.

BLENNOW A.; ENGELSEN S. B. Helix-breaking news: fighting crystalline starch energy deposits in the cell. **Trends in Plant Science**, v.15, p.236–240, 2010.

BONFIL, D. J.; ABBO, S.; SVORAY, T. Sowing data and wheat quality as determined by gluten index. **Crop Science**, v.55, p.2294-2306, 2015.

BONFIL, D. J.; POSNER, E. S. Can bread wheat quality be determined by gluten index? **Journal of Cereal Science**, v.56, p.115–118, 2012.

BORÉM, A. SCHEEREN, L. P. **Trigo do plantio à colheita**. Viscosa MG: Ed. UFV, p.126-130, 2015.

BORNHOFEN, E. et al. Environmental effect on genetic gains and its impact on bread-making quality traits in Brazilian spring wheat. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.77, p.27-34, 2017.

BOSHEV, D.; JANKULOVSKA, M.; IVANOVSKA, S.; JANKULOSKI, L. Assesment of winter wheat advanced lines by use of multivariate statistical analyses. **Genetika**, v.48, n.3, p.991-1001, 2016.

BOUACHRA, S.; BEGEMANN, J.; AARAB, L.; HÜSKEN, A. Prediction of bread wheat baking quality using an optimized GlutoPeak®-Test method. **Journal of Cereal Science**, v.76, p.8–16, 2017.

BRASIL, Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV. 1992, 365p.

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

BRIGGLE, L. W.; CURTIS, B. C. **Wheat worldwide**. In: HEYNE, E.G. (ed.). Wheat and Wheat Improvement. American Society of Agronomy, p.1–31, 1987.

CABRAL, A. L. et al. Relationship between QTL for grain shape, grain weight, test weight, milling yield, and plant height in the spring wheat cross RL4452/‘AC Domain’. **Plos One**, v.13, n.1, p.1-32, 2018.

CAMPONOGARA, A. S.; OLIVEIRA, G. A.; GEORGIN, J., ROSA. A. L. D. Avaliação dos Componentes de Rendimento do Trigo quando Submetido a Diferentes Fontes de Nitrogênio. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.20, n.1, p.524-532, 2016.

CARGNIN, A. et al. Tolerância ao estresse de calor em genótipos de trigo na fase de germinação. **Bragantia**, v.65, p.245-251, 2006.

CARSON, G. R.; EDWARDS, N. M. Criteria of Wheat and Flour Quality. In KHAN, K. (ed.). **Wheat: Chemistry and Technology** St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, p.97-118, 2009.

CASSOLA, A.; BRAMMER, S. P. Translocações cromossômicas entre trigo e centeio: uma alternativa ao melhoramento. **Ciência Rural**, v.8, n.41, p.1307-1314, 2011.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **O pão: o produto**. In:_____. Característica da qualidade do pão. Tecnologia da Panificação. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2009.

CAUVAIN, S. P. Bread and other bakery products. In: SUBRAMANIAM, P. **The Stability and Shelf Life of Food**, 2 ed., p.431-459, 2015.

CHANG, L. et al. Genetic characteristics of a wheat founder parent and a widely planted cultivar derived from the same cross. **Journal of Integrative Agriculture**, v.4, n.17, p.775–785, 2018.

CHAUDHARY, N.; DANGI, P.; KHATKAR, B. S. Fractionation of unreduced gluten proteins on SEC and their relationship with cookie quality characteristics. **Journal of Food Science and Technology**, v.2, n.54, p.342–348, 2017.

CIE, **Colorimetry**. Publicação CIE, 3 ed., 2004, 15 p.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: v. 5 - Safra 2017/18- sétimo levantamento**. Disponível em:<file:///C:/Users/User/Downloads/BoletimZGraosZabrilZ2018.pdf>. Acesso em: 15 de abr. de 2018.

CONDÉ, A. B. T. et al. Divergência genética em trigo de sequeiro por meio de caracteres morfoagronômicos. **Revista Ceres**, v.57, n.6, p.762-767, 2010.

COSTA, M. G.; SOUZA, E. L.; STAMFORD, T. L. M.; ANDRADE, S. A. C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.1, n.28, p. 220–225, 2008.

CRACKNELL, R. L. Wheat: The Crop. **Encyclopedia of Food and Health**, p.478–485, 2016.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.38, n.4, p.547-552, 2016.

CRUZ, C. D. **Princípios de Genética Quantitativa**. Editora UFV, 2010, 394 p.

CUNHA, G. R. da et al. **Regiões de adaptação para trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa trigo. (Circular Técnica Online, 20), 2006, 35 p.

CUNHA, G. R. da et al. **Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura.** (Ed.). In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (ed.). Trigo no Brasil: bases da produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, n.2, p.27–40, 2011.

CURIC, D. et al. Gluten as a standard of wheat flour quality. **Food Technology and Biotechnology**, v.39, p.353–361, 2001.

D'OVIDIO, R.; MASCI, S. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. **Journal of Cereal Science**, v.39, p. 321–339, 2004.

DAHER, R. F.; MORAES, C. F.; CRUZ, C. D. Seleção de caracteres morfológicos em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.26, n.2, p.247-259, 1997.

DELWICHE, S; MISKELLY, D. Analysis of Grain Quality at Receival. In: WRIGLEY; C.; BATEY; I.; MISKELLY, D. **Cereal Grains.** (2 ed). Technology and Nutrition, p. 513-570, 2017.

DENG, Z. et al. Inheritance and QTL analysis of flour falling number using recombinant inbred lines derived from strong gluten wheat ‘Gaocheng 8901’ and waxy wheat ‘Nuomail’. **Crop Science**, v.8, p.468–474, 2014.

DENG, Z. Y.; TIAN, J. C.; SUN, G. X. Influence of high molecular weight glutenin subunit substitution on rheological behavior and bread-making quality of near-isogenic lines developed from Chinese wheats. **Plant Breeding**, v.124, p.428–431, 2005.

DEPAUW, R.; O'BRIEN, L. **Wheat Breeding: Exploiting and Fixing Genetic Variation by Selection and Evaluation.** Reference module in Food Science, p.1-8, 2016.

DEPAUW, R. M. et al. Developing standardized methods for breeding preharvest sprouting resistant wheat, challenges and successes in Canadian wheat. **Euphytica**, v.188, p.7-14, 2012.

DERAL, Departamento de economia rural. **Área e Produção Agrícola no Estado do Paraná e comparativo com o Brasil.** Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137>>. Acesso em: 18 de abr. de 2018.

DINU, M. et al. Ancient wheat species and human health: Biochemical and clinical implications. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.52, p.1–9, 2018.

DOBRA SZCZYK, B. J.; MORGENSTERN, M. P. Rheology and the breadmaking process. **Journal of Cereal Science**, v.38, n.2, p.229-245, 2003.

DONG, Z. et al. Grain-specific reduction in lipoxygenase activity improves flour color quality and seed longevity in common wheat. **Molecular Breeding**, v.35, p.1-18, 2015.

DOWELL, F. E. et al. Relationship of bread quality to kernel, flour, and dough properties. **Cereal Chemistry Journal**, v.85, p.82–91, 2008.

DUPONT, F. et al. Differential accumulation of sulfur-rich and sulfur-poor wheat flour proteins is affected by temperature and mineral nutrition during grain development. **Journal of Cereal Science**, v.44, p.101–112, 2006.

DUPONT, F.; ALTENBACH, S. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. **Journal of Cereal Science**, v.38, p.133–146, 2003.

EAGLES, H. A. et al. Estimation and utilization of glutenin gene effects from the analysis of unbalanced data from wheat breeding programs. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.53, p.367–377, 2002.

EIVAZI, A et al. Effect of drought and salinity stress on quality related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. **Iranian Journal of Field Crop Science**, v.7, p.252–267, 2006.

EL-DASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de Farinhas Mistas**. Brasília: Embrapa, 1994.

ELÍA, M.; SLAFER, G.A.; SAVIN, R. Yield and grain weight responses to post-anthesis increases in maximum temperature under field grown wheat as modified by nitrogen supply. **Field Crops Research**, v.221, p.228–237, 2018.

EREKUL, O.; KAUTZ, T.; ELLMER, F.; TURGUT, I. Yield and bread-making quality of different wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes grown in Western Turkey. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.55, n.2, p.169–182, 2009.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#search/wheat>>. Acesso em: 10 de abr. de 2018.

FARONI, L. R. D. et al. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.115–119, 2007.

FARSHADFAR, E.; ESTEHGHARI, R. M. Estimation of genetic architecture for agro-morphological characters in common wheat. **International Journal of Biosciences**, v.5, n.6, p.140–147, 2014.

FEDERIZZI, L. C. et al. **Melhoramento do trigo**. In: BOREM, A. (ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.535–571, 1999.

FEDERIZZI, L. C. et al. Melhoramento de trigo: classificação botânica. In BOREM, A (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.660–662, 2005.

FEILLET, P. **Le grain de blé, composition et utilisation**. Paris : Institut National de la Recherche Agronomique, 2000.

FELICIO, J. C. et al. Rendimento de grãos e qualidade tecnológica de genótipos de trigo em três zonas tritícolas do estado de São Paulo no biêno 1994-95. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.1, p.59-68, 2000).

FERREIRA, J. **Comportamento de genótipos de trigo em condição de irrigação por aspersão no estado de São Paulo**. Dissertação- IAC, Campinas, 2010, 103 p.

FIGLIUOLO, G.; MAZZEO, M.; GRECO, I. Temporal variation of diversity in Italian durum wheat germplasm. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.54, p.615–626, 2007.

FINNEY, P. L.; GAINES, C. S.; ANDREWS, L. C. Wheat quality: A quality assessor's view. **Cereal Foods World**, v.32, p.313, 1987.

FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v.38, p.191-218, 2002.

FLINTHAM, J. E. Different genetic components control coatimposed and embryo-imposed dormancy in wheat. **Seed Science Research**, v.10, p.43-50, 2000.

FOIS, S. et al. Environmental conditions affect semolina quality in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) cultivars with diferente gluten strength and gluten protein composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.91, p.2664–2673, 2011.

FOLLMANN, D. N. et al. Genetic progress in homogeneous regions of wheat cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.16, n.1, 2017.

FONTANELI, R. S. Trigo de duplo propósito na integração lavoura-pecuária. **Revista Plantio Direto**, v.99, p.29-32, 2007.

FOWLER, D. B.; DIAYE, N. A.; LAUDENCIA-CHINGCUANCO, D.; POZNIAK, C. J. Quantitative Trait Loci Associated with Phenological Development, Low-Temperatur Tolerance, Grain Quality, and Agronomic Characters in Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plos One**, v.11, n.3, p.1-21, 2016.

FUFA, H. et al. Comparison of phenotypic and molecular marker-based classifications of hard red winter wheat cultivars. **Euphytica**, v.145, n.1-2, p. 133-146, 2005.

FUNDAÇÃO ABC. Meteograma. Disponível em: <http://sma.fundacaoabc.org/previsao_tempo/meteograma/eta15>. Acesso em: 15 de jun. de 2018.

GABRIEL, D. et al. New strategies for a reliable assessment of baking quality of wheat — Rethinking the current indicator protein content. **Journal of Cereal Science**, v.77, p.126-134, 2017.

GAO, X. et al. Influence of high-molecular-weight glutenin subunit composition at *Glu-B1* locus on secondary and micro structures of gluten in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food Chemistry**, v.197, p.1184–1190, 2016.

GARRIDO-LESTACHE, E.; LÓPEZ-BELLIDO, R.J.; LÓPEZ-BELLIDO, L. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v.85, p.213-236, 2004.

GERMANI, R.; MAZZARI, M. **Efeitos do tempo de estocagem do trigo em grão e da farinha de trigo na qualidade tecnológica da farinha**. EMBRAPA-CTAA, novembro, 1990.

GIANIBELLI, M. C.; LARROQUE, O. R.; MACRITCHIE, F.; WRIGLEY, C. **Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 2001, 20 p.

GONZALEZ-NAVARRO, O. et al. Variation in developmental patterns among elite wheat lines and relationship with yield, yield components and spike fertility. **Field Crops Research**, v.196, p.294–304, 2016.

GOODING, M. J., DAVIES, W. P. **Wheat Production and Utilization: Systems, Quality and Environment**. CABI International, 1997, 352 p.

GORELICK, J. et al. The Impact of Diet Wheat Source on the Onset of Type 1 Diabetes Mellitus-Lessons Learned From the Non-Obese Diabetic (NOD) Mouse Model. **Nutrients**, v.9, p.1-9, 2017.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, Documentos, 27, 1996, 36 p.

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

GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para Teste Laboratorial de Panificação - Pão tipo Forma. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.5, p.873-879, 2002.

GUTKOSKI, L. C. et al. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.3, p.786-792, 2007.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; COLUSSI, R.; SANTETI, T. A. S. Efeito da adubação nitrogenada nas características tecnológicas de trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.17, n.1-4, p.116-122, 2011.

GUZMAN, C. et al. Genetic improvement of grain quality traits for CIMMYT semi-dwarf spring bread wheat varieties developed during 1965–2015: 50 years of breeding. **Field Crops Research**, v.210, p.192–196, 2017.

GUZMAN, C. et al. Use of rapid tests to predict quality traits of CIMMYT bread wheat genotypes grown under different environments. **Food Science and Technology**, v.69, p.327–333, 2016.

HADNADEV, M. et al. Changes in the rheological properties of wheat dough during short-term storage of wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.95, p.569–575, 2015.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Iowa State University, Press Ames, 1981, 468 p.

HAMID, A.; ILYAS, M.; KALSOOM, S.; BHATTY, N. Effects of wheat bran diet and maize bran diet on the random blood glucose and weight of alloxan induced diabetic rats. **The Journal of Animal and Plant Sciences**, v.1, n.27, p.325–330, 2017.

HAR GIL, D.; BONFIL, D. J.; SVORAY, T. Multi scale analysis of the factors influencing wheat quality as determined by gluten index. **Field Crops Research**, v.123, p.1–9, 2011.

HATFIELD, J. L.; WALTHALL, C. L. Meeting global food needs: realizing the potential via genetics × environment × management interactions. **Agronomy Journal**, v.107, p.1215–1226, 2015.

HELLEMANS, T. et al. Impact of crop husbandry practices and environmental conditions on wheat composition and quality: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.66, p.2491–2509, 2018.

HENRY, R. J.; WRIGLEY, C. W. Towards a genetic road map of wheat-processing quality. **Journal of Cereal Science**, v.79, p.516–517, 2018.

HERNÁNDEZ-ESPINOSA, N. et al. Milling, processing and end-use quality traits of CIMMYT spring bread wheat germplasm under drought and heat stress. **Field Crop Research**, v.215, p.104–112, 2018.

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

HIMI, E.; MARES, D. J.; YANAGISAWA, A.; NODA, K. Effect of grain colour gene (R) on grain dormancy and sensitivity of the embryo to abscisic acid (ABA) in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v.374, n.53, p.1569–1574, 2002.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal: science and technology**. St. Paul, 2^a ed., 1994, 378 p.

HOWITT, C. A.; MISKELLY, A. **Identification of grain variety and quality type**. In: WRIGLEY, C., BATEY, I., MISKELLY, D. (ed.). *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality*, 2 ed., p.311–341, 2017.

HUANG, S. et al. Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the Triticum/Aegilops complex and the evolutionary history of polyploid wheat. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.99, p.8133–8138, 2002.

HUCL, P.; BRIGGS, C.; GRAF, R. J.; CHIBBAR, R.N. Genetic Gains in Agronomic and Selected End-Use Quality Traits over a Century of Plant Breeding of Canada Western Red Spring Wheat. **Cereal Chemistry**, v. 6, n.92, p.537-543, 2015.

HYSING, S. et al. Temporal diversity changes among 198 Nordic bread wheat landraces and cultivars detected by retrotransposon-based S-SAP analysis. **Plant Genetic Resources**, v.6, p.113–125, 2008.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático de produção agrícola**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 15 de abr. de 2018.

ICTA, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. **Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/napead/projetos/avaliacao-farinha-trigo/>>. Acesso em: 06 de mai. de 2018.

IONESCU, V. et al. Comparative evaluation of wet gluten quantity and quality through different methods. The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. **Fascicle VI–Food Technology**, v.34, n. 2, p.44-48, 2010.

JAYNES, D. B.; KASPAR, T. C.; COLVIN, T. S.; JAMES, D. E. Cluster analysis of spatiotemporal corn yield patterns in an Iowa field. **Agronomy Journal**, v.95, p.574–586, 2003.

JESUS JÚNIOR, C.de; SIDONIO, L.; MORAES, V. E. G. de. **Panorama das importações de trigo no Brasil**. In: BNDES Setorial, n.34, 2011.

JOSHI, B. K.; THAPA, D. B.; BHATTA, M. R. Genetic parameters of common wheat, **Journal of Nepal Agricultural Research**, v.1, p.9-13, 2015.

JOUANIN, A. et al. Food processing and breeding strategies for coeliac-safe and healthy wheat products. **Food research international**, 2017.

KATYAL, M. et al. Diversity in quality traits amongst Indian wheat varieties I: flour and protein characteristics. **Food Chemistry**, v.194, p.337–344, 2016.

KHAN, M. A. et al. Multivariate analysis for morphological diversity of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm lines in Kashmir valley. **Journal of Science**, v.5, n.6, p.372-376, 2015.

KHODADADI, M.; FOTOKIAN, M. H.; MIRANSARI, M. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies. **Australian Journal of Crop Science**, v.5, n.1, p.17-24, 2011.

KITISSOU, P. Un nouveau paramètre alvéographique: l'indice d'élasticité (Ie). **Industries des Céréales**, n. 92, p. 9-17, 1995.

KRUPNOVA, V. A.; KRUPNOVA O. V. Approaches to improve wheat grain quality: Breeding for falling number. **Russian Journal of Genetics: Applied Research**, v.5, n.6, p. 584–593, 2016.

KTENIOUDAKI, A.; BUTLER, F.; GALLAGHER, E. Rheological properties and baking quality of wheat varieties from various geographical regions. **Journal of Cereal Science**, v.3, n.51, p.402-408, 2010.

KUREK, M. A.; WYRWISZ, J; PIWINSKA, M.; WIERZBICKA, A. Influence of the wheat flour extraction degree in the quality of bread made with high proportions of β -glucan. **Food Science and Technology**, Campinas, v.35, n.2, p.273-278, 2015.

LAIDIG, F. et al. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. **Theoretical and Applied Genetics**, v.130, p.223–245, 2017.

LEILAH, A. A.; AL-KHATEEB, S. A. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. **Journal of Arid Environments**, v.61, p.483-496, 2005.

LI, J. et al. Genetic transformation of wheat: current status and future prospects. **Plant Biotechnology Reports**, v.6, p.183–193, 2012.

LI, Y; WU, Y.; HERNANDEZ-ESPINOSA, N.; PEÑA, R.J. The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. **Journal of Cereal Science**, v.57, p.73-78, 2013.

LIU, S. et al. Cloning and characterization of a critical regulator for preharvest sprouting in wheat. **Genetics**, 195:263- 273, 2013.

LIU, T. T. et al. Conditional and unconditional QTLs mapping of gluten strength in common wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Integrative Agriculture**, v.10, n.16, p. 2145-2155, 2017.

LODHI, S. S. et al. Assessment of Pakistan and Iranian bread wheat landraces using multivariate analysis for grain yield. **Pakistan Journal of Botany**, v.49, n.6, p.2451-2458, 2017.

LONGIN, C. F. H. et al. Hybrid wheat: quantitative genetic parameters and consequences for the design of breeding programs. **Theoretical and Applied Genetics**, 2013.

LYFORD C.; KIDD W.; DUARTE P. R.; DEYOE, C. Prediction of flour extraction in a hard red winter wheat using single kernel characterization. **Journal of food Quality**, v.28, p.279-288, 2005.

MAILHOT, W.; PATTON, J. C. **Criteria of flour quality**. In: POMERANZ, Y. (ed.). Wheat: chemistry and technology. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, v.2, p.69-90, 1988.

MAJZLOVÁ, K.; PUKAJOVÁ, Z.; JANEČEK, S. Tracing the evolution of the α -amylase subfamily GH13_36 covering the amylolytic enzymes intermediate between oligo-1,6-glucosidases and neopullulanases. **Carbohydrate Research**, v.15, n.367, p.48-57, 2013.

MANLEY, M.; ENGELBRECHT, M. L.; WILLIAMS, P. C.; KIDD, M. Assessment of variance in the measurement of hectolitre mass of wheat, using equipment from different grain producing and exporting countries. **Biosystems Engineering**, v.103, p.176-186, 2009.

MANN G. et al. Genetic control of wheat quality: interactions between chromosomal regions determining protein content and composition, dough rheology, and sponge and dough baking properties. **Theoretical and Applied Genetics**, v.118, p.1519–1537, 2009.

MARCHIORO, V.S. et al. CD 117: nova cultivar de trigo de ampla adaptação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.424-426, 2009.

MAZZUCO, H. et al. Influência do estágio de maturação na colheita e temperatura de secagem de grãos de trigo sobre os valores de energia metabolizável aparente corrigida (EMAc) em frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.6, p.2221-2226, 2002.

MCFADDEN, E. S.; SEARS, E. R. The artificial synthesis of *Triticum spelta*. **Genectics Society of America**, v.13, p.26-27, 1944.

MEANEY, F. J.; TAYLOR, C. **Heritability**. Britannica Academic. Encyclopædia Britannica. Disponível em: <http://academic-eb-britannica.ez82.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/heritability/605390#>. Acesso em: 15 de jun. de 2018.

MEREDITH, P.; POMERANZ, Y. Sprouted grain. In: POMERANZ, Y. **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul, v.7, p.239-320, 1985.

MINGOTI, R.; HOLLER, W. A.; SPADOTTO, C. A. **Produção potencial de trigo no Brasil**. Campinas, SP: Embrapa Gestão Territorial, 2014, 2 p.

MIRANDA, M. Z.; MORI, C. DE; LORINI, I. **Qualidade Comercial do Trigo Brasileiro: Safra 2007**. (Documento 126), Embrapa Trigo, Passo Fundo. 2010.

MIRANDA, M. Z.; GUARIENTI, E. M.; TONO, N. V. D. **Qualidade tecnológica de trigo**. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (ed.). Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável. Embrapa Trigo, Passo Fundo, p.371-390, 2011.

MIRANDA, M. Z.; MORI, C. de; LORINI, I. **Qualidade Comercial do Trigo Brasileiro: Safra, 2006**. (Documento 112), Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2009.

MIRANDA, M. Z.; MORI, C. de; LORINI, I., **Qualidade Comercial do Trigo Brasileiro: Safra, 2005**. (Documento 80), Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2008.

MIRANDA, M. Z.; MORI, C. de; LORINI, I. **Qualidade Comercial do Trigo Brasileiro: Safra, 2003**. (Documento 45), Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2004.

MIRANDA, M. Z. **Correlação de força de glúten e índice de elasticidade com estabilidade, para genótipos de trigo da Embrapa no Paraná**. In: Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticales, 8.; Seminário Técnico de trigo, 9 2014, Canela; Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticales, 9, 9.; Seminário Técnico de trigo, 10., 2015.

MISHRA, C. N. et al. Genetic diversity and genotypes by trait analysis for agromorphological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). **SABRAO journal of breeding and genetics**, v.47, n.1, p.21-28, 2015.

MISKELLY, D. Optimisation of end-product quality for the consumer. In: WRIGLEY, C.; BATEY, I.; MISKELLY, D. **Cereal Grains: Assessing and Managing Quality**, 2 ed., p.653-688, 2017.

MKHABELA, M. S.; BULLOCK, P. R.; SAPIRSTEIN, H. D. Characterising the most critical climatic parameters that impact the quality of spring-wheat (*Triticum aestivum* L.) on the Canadian Prairies using partial least squares (PLS) analysis. **Journal of Cereal Science**, v.81, p.44-51, 2018.

MODENES, A. N.; SILVA, A. M.; TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 2009.

MOGHADDAM, M.; ENDAIE, B.; WAINES, J. G. Genetic variation for and interrelationships among agronomic traits in landraces of bread wheat from southwestern Iran. **Journal of Genetics and Breeding**, v.52, p.73-81, 1998.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v.20, p.359-363, 1977.

MONTENEGRO, F.; ORMENESE, R. C. S. C. **Avaliação da Qualidade Tecnológica da Farinha de Trigo**. Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2006.

MORGOUNOV, A. et al. Climate change at winter wheat breeding sites in central Asia, eastern Europe, and USA, and implications for breeding. **Euphytica**, v.194, n.2, p.277-92, 2013.

MUJEEB-KAZI, A. **Utilization of genetic resources for bread wheat improvement**. In: SINGH, P. P.; JAUHAR, R. J. (ed.). Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement, Cereals, v.2, p.61–97, 2006.

MUTLU, A. C. et al. Prediction of wheat quality parameters using near-infrared spectroscopy and artificial neural networks. **European Food Research and Technology**, v.233, p.267-274, 2011.

MWADZINGENI, L. et al. Breeding wheat for drought tolerance: progress and technologies. **Journal of Integrative Agriculture**, v.15, p.935–943, 2016.

NASHAT, S.; ABDULLAH, M. Z. Quality Evaluation of Bakery Products. In: SUN, D.W. **Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation**, 2 ed., p.525-589, 2016.

NUNES, J. A. R.; MORETO, A. L.; RAMALHO, M. A. P. Using genealogy to improve selection efficiency of pedigree method. **Scientia Agricola**, v.65, p.25-30, 2008.

NUTTALL, J.G. et al. Models of grain quality in wheat—A review. **Field Crops Research**, v.202, p.136-145, 2017.

OIKONOMOU, N. A.; BAKALIS, S.; RAHMAN, M. S.; KROKIDA, M. K. Gluten index for wheat products: Main variables in affecting the value and nonlinear regression model. **International Journal of Food Properties**, v.18, p.1–11, 2015.

OKUYAMA, L. A. et al. **Germinação pré-colheita em cultivares de trigo submetidas à nebulização**. In: VII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale Londrina, Paraná, 2013.

OLAERTS, H. et al. Evolution and distribution of hydrolytic enzyme activities during preharvest sprouting of wheat (*Triticum aestivum*) in the field. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.64, p.5644–5652, 2016.

OLAERTS, H; COURTIN, C. M. Impact of Preharvest Sprouting on Endogenous Hydrolases and Technological Quality of Wheat and Bread: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.17, p.698-713, 2018.

OLÁN, M. De la O. et al. Proteínas del gluten y reología de trigos harineros mexicanos influenciados por factores ambientales y genotípicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.989-996, 2010.

OLIVEIRA, H. S. et al. Towards a new strategy to breed an autogamous plant: A case of study in *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. **Scientia Horticulturae**, v.192, p.279-286, 2015.

OLIVER, J. R.; BLAKENEY, A. B.; ALLEN, H. M. The color of flour streams as related to ash and pigments contents. **Journal of Cereal Science**, v.17, p.169–182, 1993.

ORTIZ-MONASTERIO, J. I.; PEÑA, R. J.; SAYRE, K. D.; RAJARAM, S. CIMMYT's genetic progress in wheat grain quality under four N rates. **Crop Science**, v.37, p.892–98, 1997.

ORTOLAN, F. Genótipos de trigo do Paraná – Safra 2004: **Caracterização e fatores relacionados à alteração de cor de farinha**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006, 140 p.

ORTOLAN, F.; HECKTHEUER, L. H.; MIRANDA, M. Z. Efeito do armazenamento a baixa temperatura na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1, p.55-59, 2010.

ORTOLAN, F.; STEEL, C. J. Protein Characteristics that Affect the Quality of Vital Wheat Gluten to be Used in Baking: A Review. **Comprehensive Review in Food Science and Food Safety**, v.16, p.369–381, 2017.

OSTASIEWICZ, A.; CEGLIŃSKA, A.; SKOWRONEK, S. Quality of rye bread with leavens added. **Food Science and Technology**, v.2, n.63, p.63–74, 2009.

OURY, F. et al. Reliability of indirect selection in determining the quality of bread wheat for French bread-baking. **Agronomie**, v.19, p.621-634, 1999.

PATEL, M. J.; BELL, S. C. On the Use of Conventional Dough Extension Tests in Characterising Flours for Dough Sheetability. II. Simulations. **International Journal of Food Engineering**, v.3, n.12, p.231–245, 2016.

PERTEN, H. Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase activity. **Cereal Chemistry**, v.41, p.127–140, 1964.

PINNOW, C. et al. Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.72, n.1, p.20-28, 2013.

POSNER, E. S. **Wheat flourmilling**. In KHAN, K.; SHEWRY, P. R. (ed.). Wheat chemistry and technology (4 Ed.). St Paul, MN, USA: AACC International, p.119–152, 2009.

POSNER, E.S.; HIBBS, A.N., **Wheat Flour Milling**, 2 ed., USA, 2005.

QASEEM, M. F. et al. Multivariate statistical analysis for yield and yield components in bread wheat planted under rainfed conditions. **Pakistan Journal of Botany**, v.49, n.6, p. 2445-2450, 2017.

R STUDIO. **R Studio: integrated development environment for R**, Version 0.97.390. Boston, MA: R Studio, 2012. Disponível em: <www.rstudio.org>.

RAL, J. P. et al. Engineering high α -amylase levels in wheat grain lowers Falling Number but improves baking properties, **Plant Biotechnology Journal**, v.14, p.364-376, 2016.

RANDALL, P. J.; MOSS, H. J. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.41, p.603-617, 1990.

RASPER, V. F. **Quality evaluation of cereal and cereal products**. In: LORENZ, K. J.; KULP, K. (ed.). Handbook of cereal science and technology. New York: Marcel Dekker, p.595-638, 1991.

RCSBPT, Reunião da comissão sul-brasileira de pesquisa de trigo, 31, 1999, Passo Fundo. **Recomendações**. Passo Fundo, Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo, 1999, 86 p.

RENCHEER, A. C.; CHRISTENSEN, W. F. **Methods of Multivariate Analysis**; JOHN WILEY&SONS. INC.: Toronto, ON, Canada, 2002.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle experimental de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RIBEIRO, M. N. **Influencia do tempo de condicionamento do trigo na qualidade tecnológica da farinha**. 2009. (Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2009, 79 p.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; COSTENARO, E. R.; SANA, D. **Ecofisiologia de trigo: bases para elevado rendimento de grãos**. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. (ed.). Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p.115-134, 2011.

ROSELL, C.M. Bread: Chemistry of Baking, **Encyclopedia of Food and Health**, p. 484-489, 2016.

ROYO, C. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, v.63, p.79–88, 2015.

RUIZ, J.M.; BLASCO, B.; RIVERO, R.M.; ROMERO, L. Nicotine-free and salt-tolerant tobacco plants obtained by grafting to salinity-resistant rootstocks of tomato. **Physiologia Plantarum**, v.124, p.465- 475, 2005.

SANCHEZ-GARCIA, M. et al. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, v.63, p.79-88, 2015.

SANTOS, M. X. dos; NASPOLINI FILHO, W. Estimativas de parâmetros genéticos em três ciclos de seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos no milho (*Zea mays* L.) dentado

composto Nordeste. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.9, n.2, p.307-319, 1986.

SARCEVIC, H.; JUKIC, K.; IKIC, I.; LOVIC, A. Estimation of quantitative genetic parameters for grain yield and quality in winter wheat under high and low nitrogen fertilization. **Euphytica**, v.199, n.1-2, p. 57-67, 2014.

SARTO, M. V. M. et al. Wheat phenology and yield under drought: A review. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, n.8, p.941-946, 2017.

SCHALK, K.; KOEHLER, P.; SCHERF, K. A. Targeted liquid chromatography tandem mass spectrometry to quantitate wheat gluten using well-defined reference proteins. **Plos One**, v.2, n.13, p.1-21, 2018.

SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; SILVA, M. S.; BONOW, S. **Melhoramento de trigo no Brasil**. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L. CUNHA, G. R. da. (ed.). Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011, 488 p.

SCHEUER, P. M. et al. Characterization of Brazilian wheat cultivars for specific technological applications. **Food Science and Technology**, v.3, n.31, p.816- 826, 2011.

SCHIEDT, B.; BAUMANN, A.; CONDE-PETIT, B.; VILGIS, T. A. Short- and long-range interactions governing the viscoelastic properties during wheat dough and model dough development. **Journal of Texture Studies**, v.44, p.317–32, 2013.

SCHIMANDEIRO, A. Distribuição longitudinal de plantas de milho (*Zea mays* L.) na região dos Campos Gerais, Paraná. **Ciência Rural**, v.36, n.3, 2006.

SCHMIDT, D. A. M. et al. Variabilidade genética em trigos brasileiros a partir de caracteres componentes da qualidade industrial e produção de grãos. **Bragantia**, v.68, n.1, p.43-52, 2009.

SEOK-HO, P.; FRANK, H. A.; SCOTT, R. B.; TILMAN, J. S. Impact of differing population levels of *Rhizopertha dominica* (F.) on milling and physicochemical properties of sorghum kernel and flour. **Journal of Stored Products Research**, v.44, n.4, p.322– 327, 2008.

SHI, X.; LING, H. Q. Current advances in genome sequencing of common wheat and its ancestral species. **The Crop Journal**, v.6, p.15-21, 2018.

SILVA, J .H. F. et al. Avaliação do teor de glúten em farinhas de trigo produzidas em moinhos da região Nordeste. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v.5, n.1, 2015.

SILVA, M. S.; CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P. L.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; MIRANDA, M.Z. BRS 327: a new bread wheat cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.370-373, 2010.

SILVA, R. R. et al. Investigating suitable test locations and mega-environments for evaluating spring wheat in Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v.2, n.10, p.137-143, 2016.

SILVA, R. S.; BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. **Informações técnicas para trigo e triticale, Safra 2017**. 10ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, Londrina. Embrapa Trigo, 2017, 242 p.

SIMONS, K. et al. Genetic mapping analysis of bread-making quality traits in spring wheat. **Crop Science**, v.52, p.2182–2197, 2012.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics e Plant Breeding**, v.41, p.237-245, 1981.

SISSONS, M. J.; AMES, N. P.; HARE, R. A.; CLARKE, J. M. Relationship between glutenin subunit composition and gluten strength measurements in durum wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.84. n.14, 2005.

SOLEYMANIFARD, A.; NASERI, R.; MEYSAM, M. The study genetic variation and factor analysis for agronomic traits of *Durum* wheat genotypes using cluster analysis and path analysis under drought stress condition in western of Iran. **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**, v.3, p.479-485, 2012.

STORCK, L.; SILVA, M. S. Precisão experimental de ensaios de trigo analisados pelo método de Papadakis. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3, p.407-413, 2014.

STREBET, S.; EICKE, S.; ZEEMAN, S. C. The simultaneous abolition of three starch hydrolases blocks transient starch breakdown in Arabidopsis. **Journal of Biological Chemistry**, v.287, p. 41745–41756, 2012.

STUDNICKI, M. et al. Effect of genotype, environment and crop management on yield and quality traits in spring wheat. **Journal of Cereal Science**, v.72, p.30–37, 2016.

SUN, L.; ZHOU, G.; ZHI, G.; LI, Z. Effects of different milling methods on flour quality and performance in steamed breadmaking. **Journal of Cereal Science**, v.1, n.45, p.18–23, 2007.

SUN, X. et al. Mapping quantitative trait loci for quality factors in an inter-class cross of US and Chinese wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v.120, p.1041–1051, 2010.

SUN, Y. W.; JONES, H. D.; YANG, Y.; et al. Haplotype analysis of Viviparous-1 gene in CIMMYT elite bread wheat germplasm. **Euphytica**, v.186, p.25-43, 2012.

TADESSE, W. et al. Wheat. In: SINGH, M; UPADHYAYA, H.D. **Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement**, Academic Press, p.81–124, 2016.

TANG, H. et al. . QTL analysis for wheat falling number in a recombinant inbred line population segregated with 1BL/1RS translocation in a rainfed agricultural area of China. **Euphytica**, p. 213-235, 2017.

TONON, V. **Herança genética e estabilidade de características relacionadas à qualidade dos grãos e da farinha de trigo**. 2010. (Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 2010, 120 p

TÔSTO, S. G. et al. **Aspectos geoespaciais da produção de trigo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, Documento 106, p.24, 2013.

TRETHOWAN, R. et al. An analysis of wheat yield and adaptation in India. **Field Crop Research**, v.219, p.192-213, 2018.

UAUY, C. Wheat genomics comes of age. **Current Opinion in Plant Biology**, v.36, p.142–148, 2017.

USDA, United States Departament of agriculture. **Wheat**. Disponível em: <www.ers.usda.gov/data-products/wheat-data.aspx>. Acesso: 11 de abr. de 2018.

VALÉRIO, I. P. et al. Fatores relacionados à produção e desenvolvimento de afilhos em trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n.1, p.1207-1218, 2009.

VENCOVSKY, R. **Herança quantitativa**. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (ed.). Melhoramento e produção do milho. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, p.137-214, 1987.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992, 496 p.

WALTER, L. C. et al. Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de cultivares de trigo e sua associação com a emissão de folhas. **Ciência Rural**, v.39, p.2320-2326, 2009.

WANG, J. et al. Low-molecular-weight glutenin subunits from the 1U genome of *Aegilops umbellulata* confer superior dough rheological properties and improve breadmaking quality of bread wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.98, p.2156-2167, 2018.

WANG, K.; RIAZ, B; YE, X. Wheat genome editing expedited by eficiente transformation techniques: Progress and perspectives. **The Crop Journal**, v.6, p.22-31, 2018.

WANG, M. et al. From genetic stock to genome editing: gene exploitation in wheat. **Trends in Biotechnology**, v.36, p.160–172, 2018.

WIESER, H.; KIEFFER, R. Correlations of the amount of gluten protein types to the technological properties of wheat flours determined on a micro-scale. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.19-27, 2001.

WILLIAMS, P.; EL-HARAMEIN, F. J.; NAKKOUL, H.; RIHAWI, S. **Crop quality evaluation methods and guidelines**. 2. ed., ICARDA, p.145, 1988.

YABE, S. et al. Island-model genomic selection for long-term genetic improvement of autogamous crops. **Plos One**, v.11, p.1-21, 2016.

YABWALO, D.N. et al. Impact of grain morphology and the genotype by environment interactions on test weight of spring and winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphytica**, v.214, p.1-16, 2018.

YAN, W.; FRÉGEAU-REID, J. Breeding line selection based on multiple traits. **Crop Science**, v.48, p.417–423, 2008.

YANG, Y. et al. Isolation and characterization of Viviparous-1 genes in wheat cultivars with distinct ABA sensitivity and pre-harvest sprouting tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.2863–2871, 2007.

YU, S.; TIAN, L. Breeding major cereal grains through the lens of nutrition sensitivity. **Molecular Plant**, v.11, p.23–30, 2017.

ZARZYCKI, P.; SOBOTA, A. Effect of storage temperature on falling number and apparent viscosity of gruels from wheat flours. **Journal of Food Science and Technology**, v.52, n.1, p.437-443, 2015.

ZHANG, Y. et al. Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. **Euphytica**, v.139, p.75-83, 2004.

ZHOU, Y. et al. Konjac glucomannan-induced changes in thiol/disulphide exchange and gluten conformation upon dough mixing. **Food Chemistry**, v.143, p.163–169, 2014.

ZHU, J.; KHAN, K. Quantitative variation of HMW glutenin subunits from hard red spring wheats grown in different environments. **Cereal Chemistry**, v.79, p.783-786, 2002.

ZIVANCEV, D.; TORBICA, A.; MOMCILOVIC, V; MASTILOVIC, J. Impact of genetic and climatic factors on parameters of breadmaking quality of wheat kernel and flour starch component. **Ratar Povrt**, v.54, n.3, p.93-98, 2017.

ANEXOS

Anexo 1- Classificação em Tipos do trigo (*T. aestivum*) do Grupo 1, destinados diretamente à alimentação humana. Limites máximos de tolerância expresso em %/ peso.

Tipos	Matérias Estranhas e Impurezas	Danificados por Insetos	Danificados pelo Calor, Mofados e Ardidos	Chochos, Triguilhos e Quebrados
1	0,30	0,30	0,10	0,75
2	0,50	0,70	0,20	1,50
3	0,70	1,00	0,50	2,50
Fora de Tipo	1,50	2,00	1,00	5,00

Fonte: Mapa (2010)

Anexo 2- Classificação em Classes do trigo (*T. aestivum*) do Grupo 2, destinado à moagem e outras finalidades.

Classes	Força do Glúten (Valor mínimo expresso em 10^{-4} J)	Estabilidade (Tempo expresso em minutos)	Número de Queda (Valor mínimo expresso em segundos)
Melhorador	300	14	250
Pão	220	10	220
Doméstico	160	6	220
Básico	100	3	200
Outros Usos	Qualquer	Qualquer	Qualquer

Fonte: Mapa (2010)

Anexo 3- Classificação em Tipos do trigo (*T. aestivum* e *T. durum*) do Grupo 2, destinados à moagem e outras finalidades.

Tipos	Peso do Hectolitro (Valor mínimo expresso em Kg hl ⁻¹)	Matérias Estranhas e Impurezas (% máximo)	Defeitos (% máximo)			Total de Defeitos (% máximo)
			Danificados por Insetos	Danificados pelo Calor, Mofados e Ardidos	Chochos, Triguilhos e Quebrados	
1	78	1,00	0,50	0,50	1,50	2,50
2	75	1,50	1,00	1,00	2,50	3,00
3	72	2,00	2,00	2,00	5,00	7,00
Fora de Tipo	Menor que 72	Maior que 2,00	Maior que 2,00	10,00	Maior que 5,00	Maior que 7,00

Fonte: Mapa (2010)

Anexo 4 - Indicações de qualidade de farinhas para produtos de panificação.

Produto	W (10^{-4} J)	P/L	Número de queda
Bolo	50-150	0,4-1	150
Biscoito	51-150	0,4 -2	150
Cracker	250-350	0,7 – 1,5	225 – 275
Pão Francês	180-250	0,5 – 1,2	200 – 300
Uso doméstico	150-220	0,5 – 1	201 – 300
Pão de forma	220-300	0,5 – 1,2	202 – 300
Massas Alimentícias	200	1,0 – 3	250

Fonte: Gutkoski et al. (2011).