

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Dissertação

**Caracterização fenotípica da germinação na pré-colheita em trigo em
uma população de linhagens endogâmicas recombinantes**

Ana Karina Frank Bastidas

Pelotas, 2019

Ana Karina Frank Bastidas

**Caracterização fenotípica da germinação na pré-colheita em trigo em
uma população de linhagens endogâmicas recombinantes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Fitomelhoramento).

Orientador: Antônio Costa de Oliveira – FAEM/UFPel

Coorientador: Eduardo Venske – FAEM/UFPel

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B326c Bastidas, Ana Karina Frank

Caracterização fenotípica da germinação na pré-colheita em trigo em uma população de linhagens endogâmicas recombinantes / Ana Karina Frank Bastidas ; Antonio Costa de Oliveira, orientador ; Eduardo Venske, coorientador. — Pelotas, 2019.

61 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Melhoramento. 2. Estresse abiótico. 3. Distribuição de frequências. 4. Correlação. I. Oliveira, Antonio Costa de, orient. II. Venske, Eduardo, coorient. III. Título.

CDD : 633.16

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B326c Bastidas, Ana Karina Frank

Caracterização fenotípica da germinação na pré-colheita em trigo em uma população de linhagens endogâmicas recombinantes / Ana Karina Frank Bastidas ; Antonio Costa de Oliveira, orientador ; Eduardo Venske, coorientador. — Pelotas, 2019.

61 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Melhoramento. 2. Estresse abiótico. 3. Distribuição de frequências. 4. Correlação. I. Oliveira, Antonio Costa de, orient. II. Venske, Eduardo, coorient. III. Título.

CDD : 633.16

Ana Karina Frank Bastidas

**Caracterização fenotípica da germinação na pré-colheita em trigo em
uma população de linhagens endogâmicas recombinantes**

**Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre
em Ciências (área do conhecimento: Fitomelhoramento), Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.**

Data da defesa: 6 de agosto de 2019

Banca Examinadora:

.....
PhD. Antonio Costa de Oliveira – Presidente

PhD pela Universidade da Geórgia.

Professor do Departamento de Fitotecnia. FAEM/UFPel

.....
Dra. Viviane Kopp da Luz – Examinador

Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Pós-Doutoranda no Programa de Fitomelhoramento. FAEM/UFPel

.....
Dr. Carlos Busanello – Examinador

Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Professor do Departamento de Fitotecnia. FAEM/UFPel

.....
Dr. Ricardo Lima de Castro – Examinador externo

Doutor em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa

Pesquisador no Melhoramento de Trigo. Embrapa Trigo

*A minha mãe por ser a mulher que me inspira dia após dia,
por ser meu maior exemplo de força e determinação,
por confiar sempre em mim e me apoiar nas minhas decisões.*

*A minha avó que me acompanha sempre
nos meus sonhos e no meu coração,
porque foi por ela que aprendi a amar as plantas
e que me apaixonei por esta profissão.*

*Ao meu irmão e meu amigo da vida toda
pelos laços de amor que nos une.*

*Ao meu amado Alfonso, por ser meu companheiro de vida
e ter sido o impulso para a conquista desta grande vitória.*

Dedico

Agradecimentos

A minha querida família, por acreditar em mim e me apoiar neste projeto, e mesmo na distância ter ficado próximos, me acompanhando ao longo do caminho.

A meu amado Alfonso, por me encorajar a continuar desenvolvendo minha formação acadêmica, por ter me acompanhado nesta viagem de aprendizado profissional e pessoal, por seu apoio incondicional em todo momento, por me alentar para não desistir jamais, por ser essa pessoa maravilhosa que tanto amo e admiro, e, por toda a paciência, compreensão e amor do dia a dia.

Aos meus prezados professores do Centro de Genômica e Fitomelhoramento, pela motivação e ensinamentos transmitidos, toda minha admiração e respeito. Ao professor Antonio, por todo o apoio e confiança sempre fornecidos, quem estimula e transmite sabedoria e calma; a professora Camila que inspira por sua dedicação no ensino; ao professor Luciano quem contagia com seu entusiasmo pelo estudo; ao Carlos e Railson pela entrega; e sobretudo ao Eduardo, por toda a paciência, apoio e companheirismo, por estar sempre disposto a ajudar e por ser essa pessoa admirável, grande exemplo a seguir.

Aos meus queridos amigos que fizeram grande parte deste trabalho, Katy e Luis, por compartilhar comigo seu valioso tempo, esforço, motivação e alegrias, que sem a ajuda deles dificilmente eu teria atingido esta meta. Tem sido um grande presente da vida ter encontrado vocês. E aos meus outros tantos prezados amigos que me deram uma mão no trabalho em inúmeras ocasiões: Martha, Ruth, Claudia, Andrés, Gabriel, Sheila, Giulia, Jazmín, Alfredo, Ruddy, Alejandro, Isabella, Miguel, Víctor, Thairone, Facundo, Maurício e Márcio.

As minhas grandes amigas que me deram força para seguir adiante, obrigada pelo carinho, apoio emocional e por todos os bons momentos: Tanis, Katy, Martita, Clau, Cintia, Jeni, Vale, Giovana e Karla, e especialmente Karine, “minha consciência”.

A meus queridos irmãos de casa brasileira: Tanis, Giovana, Alejandro, Alfredo e Winder, por compartilhar tantos bons momentos e me alentar neste processo com sua grata companhia. A família Vieira, por seu grande apoio e carinho.

Ao Rafael que iniciou este trabalho de pesquisa e a todos os colegas do CGF, que me ajudaram de alguma maneira para a realização do trabalho. Especialmente

muito obrigada por toda a ajuda a Valeria, Cintia, Maurício, Alexandre, Gustavo, Josi, Anna, Victoria, Lilian, Cézar, Jéder, Evandro, Carbonari, Matheus e Eduardo.

Ao Laboratório do Programa de Sementes da UFPel, pelo apoio no uso das suas instalações e equipamentos para a realização de algumas análises.

E finalmente muito agradecida com o Brasil, a Universidade Federal de Pelotas e ao CNPq pela bolsa outorgada e por ter me brindado com esta grande oportunidade.

Sumamente agradecida com todas as pessoas que fizeram parte deste projeto, pois cada um contribuiu de alguma maneira para sua realização e sucesso. Todo seu apoio foi de grande valor para mim e me sinto muito afortunada de ter achado cada um de vocês no meu caminho e fazerem parte da minha vida.

A todos muito obrigada.

“You can't build a peaceful world on empty stomachs and human misery”

(BORLAUG, 1970).

Resumo

FRANK-BASTIDAS, Ana Karina. **Caracterização fenotípica da germinação na pré-colheita em trigo em uma população de linhagens endogâmicas recombinantes.** Orientador: Antonio Costa de Oliveira. 2019. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

A germinação na pré-colheita em trigo, é um problema que atinge as regiões tritícolas úmidas, com elevadas temperaturas e alta ocorrência de precipitações no estádio de maturidade dos grãos. O melhoramento genético do trigo, na finalidade de gerar novas cultivares resistentes a este fenômeno, é de grande importância, pois o problema ocasiona prejuízos econômicos na produção do cereal, diminuindo a produtividade e a qualidade dos grãos. Neste sentido, o presente estudo objetivou caracterizar fenotípicamente uma população de linhas endogâmicas recombinantes de trigo em geração F₆, analisando os caracteres de importância agronômica e sua relação com a tolerância à germinação em pré-colheita. O experimento foi conduzido na safra de 2017, no campo experimental do Centro de Genômica e Fitomelhoramento localizado no Centro Agropecuário da Palma, pertencente à Universidade Federal de Pelotas (UFPel), município de Capão do Leão – RS. A população constituída de 398 genótipos, assim como os seus genitores Quartzo x Marfim, contrastantes para o caráter de germinação na espiga, foram avaliados para os seguintes caracteres: dias até o espigamento (DAE), estatura de plantas (EST), dias até maturação (DAM), porcentagem de acamamento (ACM), comprimento da espiga (CE), peso da espiga (PE), número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espiga (NGE), peso de grãos por espiga (PGE), peso de mil de grãos (PMG), germinação visual dos grãos (GEV) e porcentagem de grãos germinados (GEQ). Foram feitas análises de estatística descritiva, distribuição de frequências e análise de correlação. Referente ao caráter de germinação na espiga, a análise de frequências dividiu a população em 14 classes, a qual evidenciou ampla variabilidade apresentando 59% dos genótipos como segregantes transgressivos superiores aos pais. Observou-se alta correlação entre os caracteres relacionados com peso da espiga (PE, PGE e NGE), e por outra parte, a porcentagem de grãos germinados apresentou correlação positiva considerável com relação à avaliação visual da germinação (0,521); ambos métodos permitiram classificar os genótipos quanto a sensibilidade a germinação na espiga. A população estudada se mostra promissora tanto para o desenvolvimento de genótipos superiores quanto como população de mapeamento de QTL para tolerância ao caráter estudado neste trabalho.

Palavras-chave: Melhoramento. Estresse abiótico. Distribuição de frequências. Correlação.

Abstract

FRANK-BASTIDAS, Ana Karina. **Phenotypic characterization of preharvest sprouting tolerance in a recombinant inbred lines wheat population.** Advisor: Antonio Costa de Oliveira. 2019. 61 p. Dissertation (Master of Science) – Eliseu Maciel Faculty of Agronomy, Agronomy, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2019.

Pre-harvest sprouting in wheat represents a problem that affects high humidity wheat regions, with high temperatures and frequent rain at grain maturity stage. Wheat breeding is very important, aiming to create new cultivars resistant to this phenomenon, because the problem causes economic prejudices in the cereal production, diminishing grain yield and quality. In this sense, this study has as objective to characterize phenotypically a population of wheat recombinant inbred lines in F₆ generation, analyzing the characters of agronomic importance and their relationship with pre-harvest sprouting. The experiment was conducted in 2017, at experimental field of the Centro de Genômica e Fitomelhoramento located at the Centro Agropecuário da Palma, from the Universidade Federal de Pelotas (UFPel), municipality of Capão do Leão – Rio Grande do Sul, Brazil. A population constituted by 398 genotypes, as well as its genitors, Quartzo x Marfim, contrasting for pre-harvest sprouting character, was evaluated for the following characters: days to heading (DAE), plant height (EST), days to maturity (DAM), percentage of lodging (ACM), spike length (SL), spike weight (SW), spikelet number (SN), number of spikelets per spike (NEE), weight of grains per spike (PGE), thousand kernel weight (PMG), visual germination (GEV) and percentage of germinated grains (GEQ). Descriptive statistics analyzes, frequency distribution and correlation analysis were made. Concerning to pre-harvest sprouting character, an analysis of frequencies divided the population in 14 classes, which evidences the high variability represented by 59% of genotypes as transgressive segregants surpassing their parents. Note that there is a high correlation between the characters related to spike weight (PE, PGE and NGE), and on the other hand, the percentage of germinated grains shows positive correlation with visual evaluation of germination (0.521); both methods allow classifying the genotypes regarding pre-harvest sprouting tolerance. The formed population shows promise for both the development of superior genotypes as well as the QTL mapping population for pre-harvest sprouting tolerance.

Keywords: Breeding. Abiotic stress. Frequency distribution. Correlation.

Lista de Figuras

Figura 1	Germinação na espiga em trigo.....	21
Figura 2	Escala de notas visuais para avaliação de germinação na espiga (1 = nula ou baixa germinação; 2 = germinação média; 3 = germinação alta). FAEM/UFPEL 2017.....	34
Figura 3	Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter dias ao espigamento (DAE, em dias). CGF/FAEM/UFPEl, 2017.....	37
Figura 4	Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter dias até maturação (DAM, em dias). CGF/FAEM/UFPEl, 2017.....	38
Figura 5	Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter estatura de planta (EST, em cm). CGF/FAEM/UFPEl, 2017.....	40
Figura 6	Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter acamamento (ACM, em porcentagem). CGF/FAEM/UFPEl, 2017.....	41
Figura 7	Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter peso de mil grãos (PMG, em unidades). CGF/FAEM/UFPEl, 2017.....	42
Figura 8	Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter comprimento de espiga (CE, em centímetros). CGF/FAEM/UFPEl, 2017.....	43
Figura 9	Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter peso da espiga (PE, em gramas). CGF/FAEM/UFPEl, 2017.....	44

- Figura 10 Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter número de espiguetas por espiga (NEE, em unidades). CGF/FAEM/UFPel, 2017..... 45
- Figura 11 Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter peso de grãos por espiga (PGE, em gramas). CGF/FAEM/UFPel, 2017..... 46
- Figura 12 Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter número de grãos por espiga (NGE, em unidades). CGF/FAEM/UFPel, 2017..... 47
- Figura 13 Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter germinação na espiga visual (GEV, em escala visual de 1 a 3). CGF/FAEM/UFPel, 2017..... 48
- Figura 14 Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter porcentagem de grãos germinados (GEQ, em porcentagem). CGF/FAEM/UFPel, 2017..... 49

Lista de Tabelas

3 Caracterização fenotípica quanto a caracteres agronômicos de uma população de linhagens endogâmicas recombinantes de trigo

Tabela 1	Análise estatística descritiva dos caracteres agronômicos avaliados na população de RILs e a média dos seus genitores. CGF/FAEM/UFPel, 2017.....	36
Tabela 2	Coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres agronômicos avaliados na população. CGF/FAEM/UFPel, 2017.....	51
Tabela 3	Classificação dos coeficientes de correlação de acordo com sua magnitude.....	50

Sumário

1 Introdução.....	15
2 Revisão de literatura.....	16
2.1 História e evolução do trigo.....	16
2.2 Características gerais do trigo.....	17
2.3 Produção de trigo no mundo e no Brasil.....	18
2.4 Problemas na cultura do trigo.....	19
2.4.1 Estresses bióticos.....	20
2.4.2 Estresses abióticos.....	20
2.5 Germinação na pré-colheita em trigo.....	21
2.5.1 Fatores associados à PHS.....	22
2.5.1.1 Fatores climáticos.....	22
2.5.1.2 Fitormônios.....	22
2.5.1.3 Dormência.....	23
2.5.2 Métodos de caracterização fenotípica da PHS.....	24
2.6 Melhoramento genético.....	25
3 Caracterização fenotípica quanto à caracteres agronômicos de uma população de linhagens endogâmicas recombinantes de trigo.....	29
3.1 Introdução.....	29
3.2 Material e métodos.....	30
3.2.1 Constituições genéticas.....	30
3.2.2 Condições experimentais.....	31
3.2.3 Avaliação fenotípica de caracteres agronômicos.....	31
3.2.4 Avaliação da porcentagem da germinação na espiga.....	33
3.2.5 Análise estatística.....	34
3.3 Resultados e discussões.....	34

3.3.1 Análise de estatísticas descritivas e de distribuição de frequências entre os indivíduos da população.....	35
3.3.2 Análise de correlação entre os caracteres agronômicos na população.....	50
3.4 Conclusões	55
3.5 Considerações finais.....	55
Referências bibliográficas.....	56

1 Introdução

O trigo é um dos cereais mais produzidos no mundo, os quais provém para as pessoas a metade de proteína e carboidratos necessários para uma dieta saudável, sendo o trigo o cereal com maior teor proteico. Diversos usos na cadeia alimentar são dados para este importante cereal, porém ele é consumido principalmente como pão, e em menor medida em forma de massa, bolos e biscoitos (WRIGLEY et al., 2016).

No Brasil, o trigo tem sido cultivado há quase cinco séculos, não obstante, ainda não tem alcançado a autossuficiência neste cultivo. A maior região tritícola do país está conformada pelos estados de Paraná e Rio Grande do Sul, em que as condições climáticas não favorecem o progresso da cultura, levando assim à necessidade da dependência da importação do cereal para conseguir abastecer a demanda nacional.

Estas condições ambientais propiciam com que a cultura sofra diversos estresses, dificultando a produção, diminuindo o potencial de rendimento e a qualidade dos grãos, por conseguinte, gerando perdas no valor comercial do produto.

Entre os diversos fatores de estresse que afetam a planta, podem se citar o ataque de pragas e doenças, condições adversas de temperatura e o excesso de precipitações que acarretariam outros problemas como é a germinação pré-colheita. Regiões úmidas propensas a ocorrência de chuvas durante a época de colheita, fazem com que aconteça uma quebra na dormência, derivando na germinação dos grãos na espiga da planta. O grau de dano ocasionado pela germinação na espiga, além da intensidade das chuvas, depende de vários outros fatores como a temperatura, estágio de maturidade dos grãos, acamamento e da presença/ausência de genes de resistência à germinação pré-colheita. Neste sentido, este é um caráter em que estão envolvidos múltiplos genes quantitativos herdáveis e fortemente influenciados pelo ambiente (CUNHA; PIRES, 2004; DERERA, 2018).

Diante do exposto, evidencia-se a importância do estudo deste fenômeno e o desenvolvimento de novas cultivares que sejam resistentes. Portanto, a realização do presente trabalho objetivou caracterizar fenotipicamente uma população de linhagens endogâmicas recombinantes de trigo obtida através do cruzamento entre genitores contrastantes para a tolerância à germinação na espiga. Ainda, visou estabelecer as bases para a arquitetura genética deste caractere assim como a sua relação com outros de importância agronômica.

2 Revisão de Literatura

2.1 História e evolução do trigo

A palavra “trigo” originou-se do latim “*triticum*”, o que significa triturado, o que alude à ação de separar o grão da casca que o recobre. O vocábulo trigo designa-se tanto para a planta quanto para as sementes produzidas por ela (LEÓN; ROSSEL, 2007). A história do trigo está ligada ao desenvolvimento da civilização humana, pois a domesticação do cereal contribuiu com que os primeiros povoados se estabelecessem e deixassem estilo de vida nômade. O cultivo do trigo data aproximadamente de 10 mil anos atrás, na região do Crescente Fértil, no sudoeste da Ásia; e foi há 2 mil anos, a partir da Mesopotâmia que o cereal foi espalhado pelo mundo. No ano de 1534 o trigo ingressou no Brasil trazido pelos portugueses, mas foi só na segunda metade do século XVIII que o seu desenvolvimento tomou força começando pelo estado do Rio Grande do Sul, e posteriormente na década do 1940 no estado do Paraná (ABITRIGO, 2019; DE MORI et al., 2016).

O trigo pertence à família Poaceae, tribo *Triticeae* e gênero *Triticum*, e existem em torno de 30 espécies as quais são classificadas de acordo com a ploidia como diploide ($2n = 2x = 14$ cromossomos), tetraploide ($2n = 4x = 28$ cromossomos) e hexaplóide ($2n = 6x = 42$ cromossomos), sendo sete o número cromossômico básico. Na atualidade, as duas espécies de maior importância econômica são: o *Triticum aestivum* L., também chamado de trigo comum cujo genoma é hexaploide (AABBDD), e o *T. durum* (*turgidum*) ou trigo duro, de genoma tetraploide (AABB). A origem de ambas espécies parte de ancestrais diploides em comum. Inicialmente, cerca de sete milhões de anos atrás, os doadores dos genomas A (*T. urartu*) e B (uma espécie muito próxima de *Aegilops speltoides*) divergiram de um ancestral comum. A seguir, há mais de cinco milhões de anos atrás, estas geraram o doador do genoma D (*Ae. tauschii*) por hibridização e especiação homoplóide. Há menos de um milhão de anos atrás, o cruzamento natural entre estes portadores dos genomas A e B deram origem ao *T. turgidum*. Finalmente, há aproximadamente 10 mil anos atrás, o cruzamento natural entre *T. turgidum* e *Ae. tauschii* deu origem ao *T. aestivum* (VENSKE et al., 2019; WRIGLEY et al., 2016). O *T. aestivum* L. é a espécie mais produzida, representando

cerca de 90% de todo o trigo cultivado no mundo (ANDERSON; GARLINGE, 2000; BARBIERI; STUMPF, 2008; PIANA; CARVALHO, 2008; WRIGLEY et al., 2016).

Estas duas espécies de trigo diferenciam-se pela textura do seu endosperma, no trigo comum mais opaca e branca, e no trigo duro mais cristalina. Esta característica é determinada pela quantidade de células de amido presentes no endosperma, onde no *T. aestivum* é menor, pelo que há espaços entre elas e, portanto, o grão é menos denso do que o *T. durum*. É devido a esta diferença na densidade, que o trigo duro tem um teor proteico maior, o que lhe confere características ideais para a elaboração de macarrão, espaguete e outras massas, pelo contrário do trigo comum de menor conteúdo de proteína, o que lhe destina para a produção de pães, bolos e bolachas (LEÓN; ROSSEL, 2007).

2.2 Características gerais do trigo

O trigo pertencente à família das gramíneas (Poaceae), do gênero *Triticum*, de sistema de reprodução predominantemente autógama e considerada como planta de ciclo anual. Botânica e morfologicamente ela é classificada dentro das monocotiledôneas de pequeno porte e caracteriza-se por ter um sistema radicular fasciculado, pela emissão de afilhos a partir do colmo principal; de colmo normalmente oco, cilíndrico e com 4 a 7 entrenós; altura média variando de 75 a 150 cm; possui de 5 a 6 folhas curtas e eretas, arranjadas de forma alternada no colmo. A inflorescência é denominada espiga, composta de um ráquis ou colmo central dividido por nós, com um par de espiguetas alternadas e opostas inseridas em cada nó. A base da espigueta é formada por duas brácteas ou glumas constituídas por duas peças florais, denominadas pálea e lema; por sua vez, cada espigueta está conformada por várias flores, nas quais serão desenvolvidos os futuros grãos (SCHEREEN; CASTRO; CAIERÃO, 2015; WRIGLEY et al., 2016).

O grão é em geral, de forma oval com os extremos arredondados, de 4 a 7 mm de comprimento. Está formado por três partes principais: o pericarpo, que constitui a casca externa que protege a semente, o gérmen ou embrião que origina a nova planta,

e o endosperma, a parte interna a qual é um depósito de nutrientes para o desenvolvimento da futura planta (LEÓN; ROSSEL, 2007). O grão é considerado a

unidade reprodutiva (semente) assim como o produto econômico do trigo (ANDERSON; GARLINGE, 2000).

Nas condições climáticas brasileiras, o trigo é uma cultura de inverno, as temperaturas ótimas para o desenvolvimento da planta oscilam entre 10 e 25°C, sendo a temperatura ideal de 20°C. Temperaturas muito baixas ou muito elevadas podem causar fortes danos na planta durante o estágio reprodutivo. Além disso, a planta se desenvolve bem em zonas que apresentam precipitações anuais entre 375 e 800 mm, excesso de chuvas podem ocasionar morte por anoxia, acamamento, atraso na colheita e prejudicar a qualidade do grão devido a germinação prematura (LEÓN; ROSSEL, 2007; SCHEREEN; CASTRO; CAIERÃO, 2015).

2.3 Produção de trigo no mundo e no Brasil

O trigo é um dos três cereais mais cultivados no mundo, com uma produção mundial de 754 milhões de toneladas, posicionando-se em segundo lugar depois do milho (1,1 bilhão de toneladas) e antecedendo ao arroz (487 milhões de toneladas), sendo a produção do mesmo majoritariamente destinada para alimentação humana (DALL'AGNOL, 2018; LEÓN; ROSSEL, 2007; SOUZA et al., 2017). Segundo a FAO (2019), os maiores produtores de trigo no mundo são a China e a Índia, enquanto que União Europeia, Rússia e Estados Unidos lideram as exportações; e Egito, Indonésia, Argélia e Brasil lideram as importações.

No Brasil, a maior produção do cereal se concentra no sul do país, principalmente no estado de Paraná, seguido de Rio Grande do Sul. Dados apresentados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), expõem que na safra de 2018, foi cultivada uma área de 1.098 e 681,7 mil hectares para estes dois estados, com uma produção de 2.835 e 1.872 mil toneladas, e uma produtividade de 2,6 e 2,7 t ha⁻¹ respectivamente. Por outro lado, no País, foi colhida uma área de 2.042,4 mil hectares, com uma produtividade média de 2,7 t ha⁻¹ e uma produção de 5,4 milhões de toneladas. Porém, a produção no país tem sido insuficiente para abastecer o mercado interno, o que obriga a importação de mais da metade do trigo consumido no país. Neste mesmo ano foram importadas 6,9 milhões de toneladas do cereal, principalmente da Argentina, Paraguai, Canadá, Estados Unidos e Uruguai

(ABITRIGO, 2019; CONAB, 2019; FAO, 2019), afetando diretamente a indústria, pois esta tem que ficar atenta às oscilações do preço do mercado internacional e a variação cambial, neste sentido, a cotação do preço do trigo no ano de 2019 tem oscilado ao redor de R\$ 800,00 por tonelada. Assim, a estimativa de importação do cereal tem aumentado por causa do alto volume de trigo produzido no país, cuja qualidade não cumpre com as características para fabricação de pão, mas sim para outro tipo de produtos, ração animal ou exportado para países que exigem características diferentes. Neste sentido, Brasil exportou 378 mil toneladas produto da última safra, para Indonésia, Filipinas, Vietnã e Cingapura, proveniente principalmente do Rio Grande do Sul (CEPEA/ESALQ, 2019; CONAB, 2019). Ainda que o cenário seja diferente de acordo com cada região, este estado é o mais afetado devido às condições climatológicas próprias da zona, as quais, devido ao excesso de umidade, têm afetado o rendimento e a qualidade do cereal.

2.4 Problemas na cultura do trigo

A segurança alimentar mundial está em risco, dados da FAO informam que o número de pessoas com fome no planeta vem aumentando desde 2014 e na atualidade, 821 milhões de pessoas não tem comida suficiente (FAO, 2018). Isto pode derivar de vários fatores, dentre os quais figuram estresses bióticos e abióticos aos que são submetidas as plantas cultivadas. As dificuldades que se tem para produzir alimentos tem sido ocasionadas principalmente pelas mudanças climáticas globais, cuja previsão sugere o aumento nos níveis de dióxido de carbono, o que resulta no aquecimento da atmosfera e consequentemente alterações nos padrões de precipitação pluvial (WRIGLEY et al., 2016). Isto somado à falta de resistência genética por parte das cultivares utilizadas e a constante evolução dos patógenos que as atacam.

2.4.1 Estreses bióticos

Os estresses bióticos apresentam um papel importante na lavoura, pois além dos danos produzidos por pragas, existe uma ampla gama de patógenos que causam doenças no trigo. No Brasil as principais doenças são causadas por fungos como giberela (*Gibberella zeae*), brusone (*Magnaporthe oryzae*), ferrugem da folha (*Puccinia triticina*), ferrugen estriada (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), ferrugem do colmo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*), carvão-da-espiga (*Ustilago nuda* f. sp. *tritici*), mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) e manchas foliares, como mancha amarela (*Drechslera tritici-epentis*), mancha marrom (*Bipolaris sorokiniana*) e mancha da gluma (*Phaeosphaeria nodorum*). Além de das doenças anteriormente mencionadas, existem também as causadas por bactérias como a queima da folha (*Pseudomonas syringae* pv. *Syringae*) e a estria bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *undulosa*), e aquelas causadas por vírus como mosaico comum (*Soil-borne wheat mosaic vírus* (SBWMV)) e nanismo amarelo (*Barley Yellow Dwarf Virus* (BYDV) e *Cereal Yellow Dwarf Virus* (CYDV)) (LAU; SANTANA; COSTAMILAN, 2011).

2.4.2 Estreses abióticos

Todo o conjunto de fatores ambientais, seja frio, calor, seca ou excesso de chuvas, além de problemas característicos de cada região, como a composição do solo, prejudicam o desenvolvimento normal das plantas, e consequentemente a produção de alimentos. Existem diversas pesquisas ao redor do mundo, com o objetivo de desenvolver cultivares de trigo tolerantes a estes estresses abióticos, pois através do melhoramento genético de plantas tem-se conseguido adaptá-las a diferentes condições ambientais.

2.5 Germinação na pré-colheita em trigo

A germinação na pré-colheita em trigo, também chamada de germinação na espiga ou PHS (do inglês *Pre-Harvest Sprouting*) pode ser definida, como a germinação dos grãos na espiga antes da colheita (Figura 1). Durante o período de maturação dos grãos, condições ambientais mais secas são ideais para evitar a germinação na espiga da planta, por tanto, molhamento da planta e elevada umidade relativa do ar favorecem este problema (GUARIENTI et al., 2017; LEÓN; ROSSEL, 2007).



Figura 1 - Germinação na espiga em trigo.
Fonte: LUMPKIN, 2008.

A produção de cereais como trigo, milho e arroz, é afetada no mundo inteiro com a PHS, especificamente em regiões que apresentam estas condições de alta umidade, representando uma expressiva causa de perdas na produção e na qualidade industrial do grão, podendo atingir danos de 30% a 50% quando usar cultivares altamente suscetíveis. Este problema é apresentado principalmente no norte e oeste da Europa, Norte da Austrália, África do Sul, Nova Zelândia, Canadá, Chile, Argentina, e no Brasil, onde o problema é mais recorrente na região sul, em áreas quentes, onde a alta temperatura diminui a dormência dos grãos e as chuvas coincidem com o período da colheita (CUNHA; PIRES, 2004; GUARIENTI et al., 2017; LEÓN; ROSSEL, 2007; SIMSEK et al., 2014).

2.5.1 Fatores associados à PHS

Diversos fatores estão relacionados a germinação na pré-colheita em trigo, como a genética da planta (presença ou não de genes de resistência), a estrutura e morfologia da espiga em relação com a absorção de água, a dormência das sementes e a concentração e atividade da enzima α -amilase, e, especialmente, as condições ambientais como chuva, elevada umidade relativa do ar e elevada temperatura (GUARENTI et al., 2017; PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2012).

2.5.1.1 Fatores climáticos

A disponibilidade de água é o principal fator que influencia na germinação de sementes. As sementes maduras contêm de 5 a 20% de seu peso em água, o que é insuficiente para a retomada do crescimento do embrião, precisando assim, absorver mais do água do meio. Outro fator limitante é a temperatura, pois há uma temperatura ideal para germinação da semente, a qual é específica para cada espécie. Durante a formação da semente, quando a temperatura é elevada (acima de 30°C), ocorre a diminuição da produção de amido e da dormência das sementes, propiciando a germinação (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2012).

2.5.1.2 Fitormônios

Ainda, com grande importância, estão os fitormônios, os quais são responsáveis pela reativação de algumas enzimas presentes nas sementes e a síntese de outras. Os fitormônios de maior influência na germinação são o ácido abscísico (ABA) o qual impede a germinação, e as giberelinas (GA) que promovem a germinação. As GA induzem a síntese e secreção da enzima alfa-amilase para dividir o amido e demais macromoléculas em moléculas menores, as quais serão transportadas para o embrião em crescimento. Por um lado, pode-se dizer que a germinação na espiga está associada com uma deficiência de ABA, porém, existem outros hormônios como os brassinosteróides (BR), óxido nítrico (NO) e o etileno, os

quais também desempenham um papel importante na regulação da germinação da semente (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2012; SHU et al., 2015).

Como consequência da atividade enzimática, a germinação na espiga afeta a qualidade de panificação do trigo pela ação conjunta de enzimas proteolíticas e amilolíticas, que agem sobre as proteínas e amido do endosperma, reduzindo a força do glúten (um índice W alto indica um alto porcentual de glúten) e resultando em pães escuros e grudentos, portanto, deprecia a qualidade e o valor comercial da farinha (BELEIA; EIRAS, 1990; LEÓN; ROSSEL, 2007). A importância do glúten

2.5.1.3 Dormência

A falta de dormência adequada das sementes é uma das principais causas da ocorrência da germinação na espiga, a qual é controlada por múltiplos genes de alta herdabilidade (LI et al., 2004), ainda que geralmente o esperado seja o oposto. A dormência é um estado fisiológico em que as sementes, ainda que sejam viáveis sob condições ótimas para germinar, não germinam. Isto pode ocorrer devido à imaturidade do embrião, impermeabilidade da estrutura protetora da semente e presença de substâncias inibidoras na estrutura da espiga. Os mecanismos de dormência são adaptações evolutivas necessárias à sobrevivência das espécies, um mecanismo de segurança que evita que as sementes germinem sob condições desfavoráveis para o desenvolvimento da plântula. Esse é o caso de muitas espécies que requerem passar por um período de baixas temperaturas antes de quebrar a dormência, porque é mais seguro passar pelo estresse do inverno como semente do que como plântula. Além disso, o nível de dormência não é homogêneo a todas as sementes de uma planta, de maneira que a germinação destas possa ocorrer distribuída ao longo do tempo, permitindo assim que os descendentes experimentem diferentes condições de ambiente. O objetivo é que pelo menos uma semente consiga germinar em período adequado à produção de descendentes (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2012).

2.5.2 Métodos de caracterização fenotípica da PHS

Para caracterizar a susceptibilidade a germinação na espiga em genótipos de trigo, diferentes métodos têm sido desenvolvidos, representando entre eles vantagens e desvantagens quanto a acurácia e tempo de avaliação, sendo alguns deles mais similares com a realidade e aplicados conforme as possibilidades e recursos do projeto de pesquisa (HAGEMANN; CIHA, 1984). Tais métodos são os seguintes: avaliação direta das espigas no campo, após um período de chuva; avaliação das espigas em casa de vegetação ou telado coberto, simulação de chuva por meio de aspersão ou nebulização; avaliação das espigas no laboratório, pela imersão direta em água; e avaliação dos grãos no laboratório, pelo teste de germinação em placas de Petri, ou mesmo rolos de papel (GUARENTI et al., 2017).

A avaliação das espigas pode ser mensurada de duas formas: visual, utilizando notas visuais que indicam o grau de germinação, ou quantitativa, mediante a trilha da espiga e posterior contagem dos grãos germinados. Além disso, a caracterização pode ser complementada com análises indiretas como a determinação do peso do hectolitro e a análise enzimática do número de queda, utilizando o aparelho *Falling Number* (número de queda) de Hagberg. Dos métodos citados, apenas a determinação do número de queda é um método padronizado e aprovado pela *American Association of Cereal Chemists* (AACC), organização responsável pela padronização internacional de procedimentos de análises de cereais, o que possibilita a reproduzibilidade dos resultados (GUARENTI et al., 2017).

O método de indução de germinação na espiga através da imersão em água é mais eficiente na indicação de genótipos contrastantes e pode ser usado em programas de melhoramento para esta finalidade (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2015).

Os diferentes métodos de avaliação da germinação na espiga apresentam vantagens e desvantagens quanto a tempo, simplicidade, economia e reproduzibilidade (HAGEMANN; CIHA, 1984). Quando se avalia a espiga completa há desvantagem quanto ao grande espaço requerido dos rolos na câmara de germinação assim como a grande quantidade de água que se requer para imersão completa das espigas e embebição das sementes. Além destes fatores, a trilha manual e separação das sementes quanto a germinação, é trabalhosa e demorada (FRANCO et al., 2009).

Por outro lado, em comparação com o método que avalia as sementes em placa de Petri, a diferente posição/localização das sementes na espiga intacta, representa um microambiente diferente para cada uma delas, o qual poderia influenciar na germinação e explicar um alto coeficiente de variação. No entanto, a avaliação da espiga inteira tem maior similaridade com a realidade que sofrem as sementes em condições naturais, pois a estrutura da espiga e os componentes presentes nela tem uma influência sobre a resposta à germinação. A escolha do método para indicar a suscetibilidade à germinação pré-colheita, dependerá do objetivo da avaliação, como é no caso da pesquisa, onde os testes de germinação outorgam maior acurácia para o melhorista na classificação dos genótipos; no entanto, quando se precisa de uma avaliação mais rápida e prática, como é o caso das indústrias, a avaliação indireta por meio de análise enzimática do *Falling Number*, é uma boa opção (HAGEMANN; CIHA, 1984).

2.6 Melhoramento genético

O melhoramento genético é a ciência que visa melhorar as características de plantas e animais para o benefício do homem. Os principais objetivos do melhoramento de trigo são desenvolver novas cultivares com bom ideótipo de planta, aumentar o rendimento de grãos, a resistência/tolerância a estresses bióticos e abióticos, e atingir um perfil de qualidade alto e estável (CAIERÃO et al., 2016).

A história do melhoramento de plantas data desde tempos ancestrais, quando o agricultor selecionava as melhores plantas da sua lavoura para continuar as cultivando na próxima safra. Esta seleção era feita inicialmente de maneira inadvertida e após vários séculos, intencional mas empírica, com o conhecimento gerado através da observação do próprio cultivo (VENSKE et al., 2019). Porém, o grande avanço que marcou o diferencial no melhoramento de trigo passou a acontecer a partir da década de 40, com a chamada Revolução Verde, quando um cientista americano foi desenvolver sua pesquisa sob trigo no México (NORMAN BORLAUG, 2007). Os trabalhos do Dr. Norman Ernest Borlaug se focaram no desenvolvimento de trigos semi-anãos, resistentes a ferrugens e a seca, com aumento no rendimento e na qualidade industrial, assim como no melhoramento das práticas de manejo do cultivo.

Os frutos da sua pesquisa beneficiaram o mundo inteiro, e foi galardoado com o Prêmio Nobel da Paz por ter salvado milhões de pessoas da fome. Borlaug, por sua grande contribuição no desenvolvimento agrícola, é considerado o pai da agricultura moderna e da revolução verde (BORÉM; MIRANDA, 2013; WRIGLEY et al., 2016).

Já a história do melhoramento genético de trigo no Brasil iniciou oficialmente em 1919, quando o Ministério de Agricultura cria as estações experimentais em Alfredo Chaves, Rio Grande do Sul (atualmente Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (DDPA/SEAPDR) em Veranópolis) e em Ponta Grossa, Paraná. Nessa época o pesquisador tchecoslovaco Carlos Gayer, começou seus trabalhos com a seleção de germoplasma local e introdução de trigos de outras partes do mundo. Os genótipos selecionados nestas duas localidades, deram origem aos trigos brasileiros contemporâneos (SCHEEREN et al., 2011). Além disso, Iwar Beckman, na década de 1940, desenvolveu cultivares de trigo que são ainda hoje marcos na tolerância ao alumínio e à germinação na espiga (SCHEREEN; CAIERÃO, 2015). Por sua parte, a partir da década de 1970, ocorreu uma grande influência do germoplasma mexicano no Brasil, em cultivares introduzidas para seu direto cultivo no país como para seu uso em cruzamentos artificiais (SOUSA; CAIERÃO, 2014).

Neste ano de 2019, o melhoramento de trigo completa um século no Brasil. Nas últimas três décadas, o melhoramento deste cereal fez com que triplicasse a sua produtividade e aumentou a qualidade tecnológica de grãos, especialmente devido ao melhoramento para tolerância à acidez do solo e resistência a doenças. Além disso, também obteve sucesso em desenvolver plantas de porte mais baixo, ciclo precoce e colmos resistentes ao acamamento (CAIERÃO et al., 2016; SOUSA; CAIERÃO, 2014).

Como legado da Revolução Verde e produto do esforço de cientistas dedicados na tarefa de garantir a produção de alimentos, existem diversos programas de melhoramento de cereais ao redor do mundo, dos quais o *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo* (CIMMYT) localizado no México, é o maior centro de pesquisa de milho e trigo. Já no Brasil, diferentes instituições públicas e privadas atuam neste campo. Dentre as instituições públicas pode se destacar a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), institutos estaduais de pesquisa, como o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), o Instituto Agronômico de Campinas

(IAC), o Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (DDPA/SEAPDR) e diversas Universidades, especialmente do sul do país. Dentre as empresas privadas atuantes, recebe maior destaque a Biotrigo Genética, mas também OR Sementes, Limagrain, Tamona Agropecuária, Biotech do Brasil, entre outras (CAIERÃO et al., 2016).

Além disso, existem vários bancos de germoplasma no mundo, responsáveis por armazenar e salvaguardar a grande maioria de genótipos de trigo. As maiores coleções de germoplasma de trigo estão situadas no *N. Vavilov Research Institute of Plant Industry* na Rússia, no *Svalbard International Seed Vault*, na Noruega e no *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo* (CIMMYT), no México, sendo este último centro o possuidor da maior coleção de acessos (BORÉM; MIRANDA, 2013; CAIERÃO et al., 2016).

No Brasil, os principais bancos de germoplasma estão localizados na Embrapa, tanto na Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS, como na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em Brasília, DF (CAIERÃO et al., 2016).

Segundo dados publicados pelo *Consultative Group on International Agricultural Research* (CGIAR), atualmente existem 157.801 acessos de trigo disponíveis, que podem ser usados para pesquisa nos programas de melhoramento; por sua parte, o Brasil conta com 242 cultivares registradas até 2015 no país, conforme a informações fornecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (CAIERÃO et al., 2016; CGIAR, 2019).

O desenvolvimento de cultivares melhor adaptadas a determinada região geográfica e a tolerância às principais moléstias da espécie, são alguns dos objetivos mais comuns nos programas de melhoramento genético. Para tais propósitos, o cruzamento de genótipos é uma estratégia ideal quando se pretende ampliar a variabilidade genética nos cultivares em uso e a seleção de populações com indivíduos recombinantes desejáveis. Neste sentido, a escolha dos genitores é fundamental para o sucesso da tática de melhoramento, em que, hibridações entre genitores contrastantes, ou seja, de grande distância genética entre eles, consegue uma maior variabilidade nas gerações segregantes iniciais, aumentando a possibilidade de obter genótipos transgressivos para o caráter em estudo. Com esta finalidade, podem ser utilizados cultivares em uso, os quais, atingem as exigências do mercado, e linhagens com destaque em características específicas relacionadas ao

caráter de interesse (BORÉM; MIRANDA, 2013; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; KHUSH, 2003).

Com a finalidade da criação de uma nova cultivar, existem vários métodos de melhoramento que podem ser empregados, dentre os quais podem ser destacados o método massal, retrocruzamento, SSD (do inglês, *Single Seed Descent*) e o genealógico ou *pedigree*, sendo este último o mais frequentemente usado. O método a ser utilizado vai depender do cruzamento, do objetivo da pesquisa, e dos recursos e mão de obra disponíveis. O tempo necessário ao desenvolvimento de cultivares melhoradas é geralmente elevado. Geralmente precisam-se de 10 a 12 anos desde a etapa inicial, o cruzamento, até a criação de uma nova cultivar (BORÉM; MIRANDA, 2013; CAIERÃO et al., 2016; SCHEEREN et al., 2011).

Uma ferramenta que vem contribuindo enormemente para acelerar o processo de melhoramento é o uso de marcadores moleculares. Um dos primeiros passos para a obtenção de marcadores de alta eficiência é o desenvolvimento de populações de mapeamento, utilizando genitores contrastantes para a característica em estudo. Para este fim, frequentemente são utilizadas populações derivadas de plantas F₂, populações de retrocruzamento (BC), duplo-haploides, linhas quase isogênicas, e, com grande destaque, linhas endogâmicas recombinantes (RILs – do inglês, *Recombinant Inbred Lines*). As populações RIL são comumente desenvolvidas através do método SSD, e caracterizam-se por serem linhas homozigotas estáveis. Além disso, possuem a vantagem de serem uma população permanente que pode ser avaliada vários ciclos e em diferentes locais por ano (JIANG et al., 2015).

O emprego de ferramentas biotecnológicas no melhoramento, é um instrumento altamente valioso, pois economiza tempo e recursos, auxiliando no processo de seleção preliminar de genótipos antes de serem avaliados a campo, através da identificação de marcadores moleculares ligados a genes envolvidos no controle de variações fenotípicas.

3 Caracterização fenotípica quanto a caracteres agronômicos de uma população de linhagens endogâmicas recombinantes de trigo

3.1 Introdução

A germinação na espiga do trigo é um tipo de estresse abiótico na planta, causado por condições ambientais adversas como temperaturas elevadas e precipitações durante o período da colheita (NÖRNBERG et al., 2015). Este fenômeno é a causa de sérios danos no potencial de rendimento e redução da qualidade dos grãos. No Brasil, o problema da germinação na pré-colheita é realmente severo, pois as perdas podem atingir até US\$100 milhões por ano (BASSOI; FLINTHAM, 2005).

Neste cenário, o melhoramento de plantas tem grande importância, pois permite o desenvolvimento de genótipos tolerantes a estresses climáticos, gerando cultivares melhor adaptados a diferentes regiões. Portanto, torna-se necessária a avaliação dos genótipos, na localidade particular para a qual se pretende implementar o uso da nova cultivar, isto através da caracterização fenotípica da população específica (BORÉM; MIRANDA, 2013).

O conjunto das características observáveis num organismo constitui o seu fenótipo, o qual é o resultado da expressão de genes, efeitos ambientais e a interação entre eles. A caracterização fenotípica, por conseguinte, diz respeito à avaliação da aparência das plantas e sua relação com as funções fisiológicas, através da mensuração de caracteres particulares, como por exemplo, a produtividade (REYNOLDS et al., 2013).

Os caracteres quantitativos representam a maioria das características de importância agronômica e são caracterizados por conferir uma distribuição contínua dos fenótipos avaliados (FALCONER; MACKAY, 1996). Nas análises estatísticas descritivas, os indivíduos podem ser agrupados em classes através de uma análise de distribuição de frequências, e os dados obtidos podem ser representados em gráficos de dispersão para identificar os indivíduos transgressivos em comparação com a média dos genitores. Frequentemente, estudos na área de fitomelhoramento exploram este tipo de análise, como por exemplo estudos de caracteres agronômicos em populações de trigo (THUROW et al., 2018). Por outra parte, as análises de

correlação entre estes caracteres de interesse, pode orientar o melhorista para a seleção indireta dos mesmos (GALARÇA et al., 2010).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi identificar classes fenotípicas e estimar a correlação para caracteres de importância agronômica relacionados a germinação pré-colheita, além do mais, comparar os métodos de avaliação visual da germinação na espiga e determinação da porcentagem de germinação na espiga, numa população de linhas endogâmicas recombinantes em geração F₆.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Constituições genéticas

A população de estudo foi constituída por 398 linhas endogâmicas recombinantes - RILs (do inglês, *Recombinant Inbred Lines*) em geração F₆, e seus genitores Quartzo (pedigree: ÔNIX / AVANTE) e Marfim (pedigree: ORL 94101/2*ORL 95688). Ambas cultivares foram liberadas pela OR/Biotrigo no ano de 2007 (FRANCO; EVANGELISTA, 2018).

A escolha dos genitores para a construção desta população foi baseada no elevado potencial de produtividade do genitor Quartzo e alta qualidade de grãos do genitor Marfim, mas principalmente por eles apresentarem valores contrastantes quanto ao caráter de germinação na espiga, visando ampliar a variabilidade genética na população segregante. De acordo com a Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (2018), em relação à reação à germinação na espiga, a cultivar Quartzo é classificada como tolerante a moderadamente tolerante, e Marfim considerada como moderadamente tolerante a moderadamente suscetível. As pesquisas de fato indicam que o cultivar Quartzo apresenta bom potencial para o uso em blocos de cruzamento para incremento da tolerância a este caráter (NÖRNBERG, 2012). É importante mencionar que esta população foi formada com o objetivo de se constituir em uma população de mapeamento de QTL para tolerância a este caráter.

Inicialmente, para a formação da população, cruzamentos artificiais entre os genitores foram realizados em casa de vegetação de junho a novembro de 2010. Em seguida, de janeiro a junho de 2011, plantas obtidas das sementes F₁ foram cultivadas

também em casa de vegetação, visando o avanço para a geração F₂. As gerações posteriores foram conduzidas em campo experimental, sendo a geração F₂ em plantas espaçadas de junho a novembro de 2011, as gerações F₃ e F₄ em linha cheia pelo método populacional (*bulk*) de junho a novembro de 2012 e 2013, respectivamente (NÖRNBERG, 2012), e a geração F₅ em plantas espaçadas de julho a dezembro de 2014.

3.2.2 Condições experimentais

Os experimentos foram desenvolvidos no campo experimental do Centro de Genômica e Fitomelhoramento (CGF), situado no Centro Agropecuário da Palma (CAP), pertencente à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), município de Capão do Leão – RS, situado a 31° 52' 00" de latitude sul e 52° 21' 24" de longitude oeste; a uma altitude de 13,24 m, com precipitação pluviométrica média de 2.209 mm. As avaliações de plantas amostradas foram efetuadas no Laboratório do CGF e no Laboratório de Tecnologia de Sementes da UFPel.

O experimento foi semeado em 26 de junho de 2017. O delineamento experimental utilizado foi de blocos aumentados, com 17 blocos de testemunhas arranjados aleatoriamente. O tamanho da unidade experimental por genótipo foi de uma linha de 1 metro de comprimento. O plantio foi realizado de forma manual e a densidade de semeadura foi de 300 sementes por m², sendo 60 sementes por metro linear; com um espaçamento entre linhas de 20 cm e uma profundidade aproximada de 5 cm. O manejo foi realizado conforme recomendações técnicas da Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (RCBPTT, 2015).

3.2.3 Avaliação fenotípica de caracteres agronômicos

A população completa foi avaliada fenotipicamente a campo para os caracteres de dias ao espigamento (DAE), estatura de planta (EST), dias à maturação (DAM) e porcentagem de acamamento (ACM).

O caráter dias ao espigamento (DAE) foi determinado visualmente quando, 50% das plantas na parcela mostrou a metade da espiga emergida sobre a lígula da folha bandeira, estádio Z55 conforme a escala de Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

A estatura das plantas (EST) foi avaliada no final do ciclo, utilizando uma trena e medindo em centímetros a distância do solo ao ápice da espiga, com exclusão das aristas. O valor foi determinado da média de dez pontos medidos na parcela.

O acamamento foi estimado por avaliação visual, em porcentagem de 0 a 100% do total da parcela, próximo a época de maturação.

O caráter de dias à maturação (DAM) foi determinado visualmente quando em 50% das plantas na parcela, observou-se o pedúnculo com coloração amarelada, estágio Z91 conforme a escala de Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

Quando o total das plantas na parcela atingiu a fase de maturidade fisiológica, foram colhidas dez espigas principais para a avaliação dos componentes de rendimento, e mais dez espigas ao acaso do colmo principal e afilhos para o teste de germinação na espiga.

Os componentes de rendimento avaliados foram: comprimento da espiga (CE), peso da espiga (PE), número de espiguetas por espiga (NEE), peso de grãos por espiga (PGE) e número de grãos por espiga (NGE). Estas avaliações foram executadas no Laboratório do CGF. Após a colheita, os grãos foram submetidos a processo de secagem numa estufa de circulação forçada de ar numa temperatura de 35°C durante 72 horas, a fim de uniformizar a umidade a 13%.

O comprimento da espiga (CE) foi mensurado em centímetros com auxílio de uma régua graduada, medindo da base até a ponta da espiga, excluindo as aristas.

O peso da espiga (PE) e o peso de grãos por espiga (PGE) foram determinados em gramas, utilizando uma balança analítica.

O número de espiguetas por espiga (NEE) foi mensurado mediante a contagem manual das espiguetas, desconsiderando as espiguetas inférteis (no ápice e na base da espiga).

O número de grãos por espiga (NGE) foi calculado após a trilhagem manual da espiga, pela contagem manual dos grãos considerando o total dos mesmos.

O peso de mil grãos (PMG) foi mensurada no Laboratório de Tecnologia de Sementes conforme as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Primeiramente foi obtida uma amostra de grãos do total colhido da parcela, depois a amostra foi limpa para retirada de impurezas utilizando um ventilador elétrico (FAO, 1991), após os grãos foram contados num equipamento de contagem automática. Finalmente foram pesadas em triplicata amostras de 100 grãos de cada genótipo, e as médias extrapoladas para massa de mil grãos, expresso em gramas.

3.2.4 Avaliação da porcentagem da germinação na espiga

O teste de germinação na espiga foi realizado nas instalações do Laboratório do CGF. Após serem colhidas no estágio de maturidade fisiológica, a amostra de dez espigas por linha foi colocada em sacos de papel e armazenada à -20°C até a execução das análises. Antes de submeter as espigas ao teste de germinação, elas foram desinfestadas com um banho de álcool a 70% durante 5 segundos, posteriormente lavadas com água destilada, imersas em hipoclorito de sódio a 2% por 5 minutos e finalmente foi realizada três lavagens com água destilada. Logo a seguir as espigas foram imersas em água destilada a temperatura ambiente durante 8 horas, e após esse período foram retiradas e colocadas em papel toalha para secar o excesso de água. As espigas foram colocadas em papel de germinação previamente embebido em água destilada 2,5 vezes do total de peso do papel, segundo as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009), enroladas no papel segurando com elásticos as pontas do rolo e colocadas dentro de sacos plásticos para conservar melhor a umidade. Em seguida foram incubadas em câmara de germinação de condições controladas, à temperatura de 20°C ±1°C, fotoperíodo 12 horas luz – 12 horas escuro, durante 7 dias, e logo depois os rolos foram secos a 50°C em estufa de circulação forçada por 72 h. Após este processo foi realizada a leitura visual de germinação (GEV) conforme a escala proposta de notas visuais de 1 a 3, onde 1 representa o valor mais baixo e 3 o mais alto (Figura 2). Por último as espigas foram trilhadas para a contagem dos grãos germinados e totais para obter o valor quantitativo da porcentagem de grãos germinados (GEQ, porcentagem).

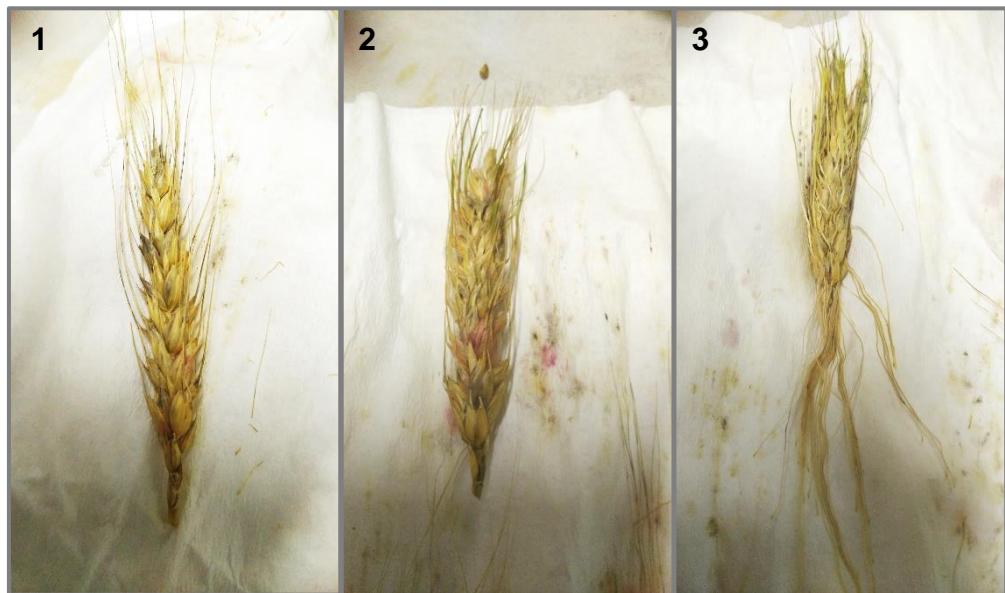


Figura 2 – Escala de notas visuais para avaliação de germinação na espiga (1 = nula ou baixa germinação; 2 = germinação média; 3 = germinação alta). FAEM/UFPEL 2017.

3.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de estatística descritiva e estimativa dos coeficientes de correlação genética entre os caracteres avaliados. Todas as análises estatísticas foram executadas considerando 5% de probabilidade de erro e executadas no software estatístico SAS V9.4 (SAS 9.4 SOFTWARE, 2014). Os gráficos foram desenhados no programa SigmaPlot 11.0.

3.3 Resultados e discussão

Derivada da palavra fenótipo, a fenotipagem é a ação de mensurar os valores qualitativos e quantitativos das características em estudo e relacioná-las com o desempenho de um genótipo ou de uma população em um determinado ambiente (DHONDT; WUYTS; INZÉ, 2013). Após a coleta dos dados, existem diversas formas de analisá-los, visando uma interpretação de maior valia. Neste estudo, dois tipos principais de análise foram realizados, sendo as análises de estatística descritiva e distribuição de frequências e a análise de correlações fenotípicas, conforme apresentado na sequência.

3.3.1 Análise de estatísticas descritivas e de distribuição de frequências entre os indivíduos da população

Os resultados da análise descritiva dos componentes agronômicos da população de RILs e seus genitores, são apresentados na Tabela 1.

Estimativas de assimetria (S) indicam o desvio da distribuição dos dados, em relação a uma distribuição simétrica no gráfico, e o sinal do coeficiente classifica o tipo de assimetria, em que, $S = 0$, distribuição simétrica, $S < 0$, distribuição assimétrica negativa e $S > 0$, assimetria positiva. Por sua parte, a curtose (K) representa a forma da distribuição dos dados em relação a uma distribuição normal: com $K = 0$, a distribuição é mesocúrtica, nem chata nem delgada, $K > 0$, leptocúrtica, é delgada, com alta homogeneidade, $K < 0$, platicúrtica, achataada e com alta variabilidade (CRUZ, 2006).

Tabela 1 - Estatística descritiva dos caracteres agronômicos avaliados na população de RILs e a média dos seus genitores (Quartzo x Marfim). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Caráter	\bar{X} RIL	\bar{X} G1	\bar{X} G2	Mínimo	Máximo	S	K	CV (%)
DAE	91	95	90	78	110	0,69	1,71	5,11
DAM	137	141	135	122	152	0,68	0,14	3,72
EST	66	65	64	48	81	-0,25	0,91	7,66
ACM	40	14	54	0	100	0,30	-1,66	104,54
PMG	35,13	36,60	34,23	27,00	51,90	0,36	1,25	9,61
CE	8,1	8,9	7,9	5,1	11,1	0,03	0,29	11,37
PE	2,01	2,11	2,13	0,77	3,27	0,04	-0,01	20,23
NET	15	16	16	12	20	0,08	-0,10	10,43
PGE	1,49	1,53	1,56	0,57	2,46	-0,02	0,03	21,53
NGE	42	40	42	17	63	0,15	0,16	18,36
GEV	2	2	2	1	3	0,22	-0,45	27,96
GEQ	41	47	53	5	83	0,04	-0,48	36,84

\bar{X} RIL = média da população RIL; \bar{X} G1 = média do genitor Quartzo; \bar{X} G2 = média do genitor Marfim; S = Coeficiente de assimetria; K = curtose; CV (%) = Coeficiente de variação; DAE = dias ao espigamento; DAM = dias a maturação; EST = estatura de planta (cm); ACM = acamamento (%); PMG = peso de mil grãos (g); CE = comprimento da espiga (cm); PE = peso da espiga (g); NEE = número de espiguetas por espiga; PGE = peso de grãos por espiga (g); NGE = número de grãos por espiga; GEV = germinação na espiga (escala visual); GEQ = germinação na espiga (%).

O período da emergência até o espigamento determina grandemente a diferença de ciclo entre genótipos de trigo (NEDEL; GONZÁLEZ; PESKE, 1999). Referente a este caráter, a população apresentou assimetria positiva de 0,69, estando assim 34% dos indivíduos com valores abaixo da média da população (91 dias) e da média de cada um dos pais (95 e 90 dias), ou seja, são linhas de ciclo mais precoce.

Além disso, a média geral tendeu ao genitor Marfim (90 dias), o mais precoce. A distribuição de frequências dos dados analisados ainda mostrou um baixo coeficiente de variação (5,11%) e um gráfico leptocúrtico (Figura 3), com valor de curtoze de 1,71.

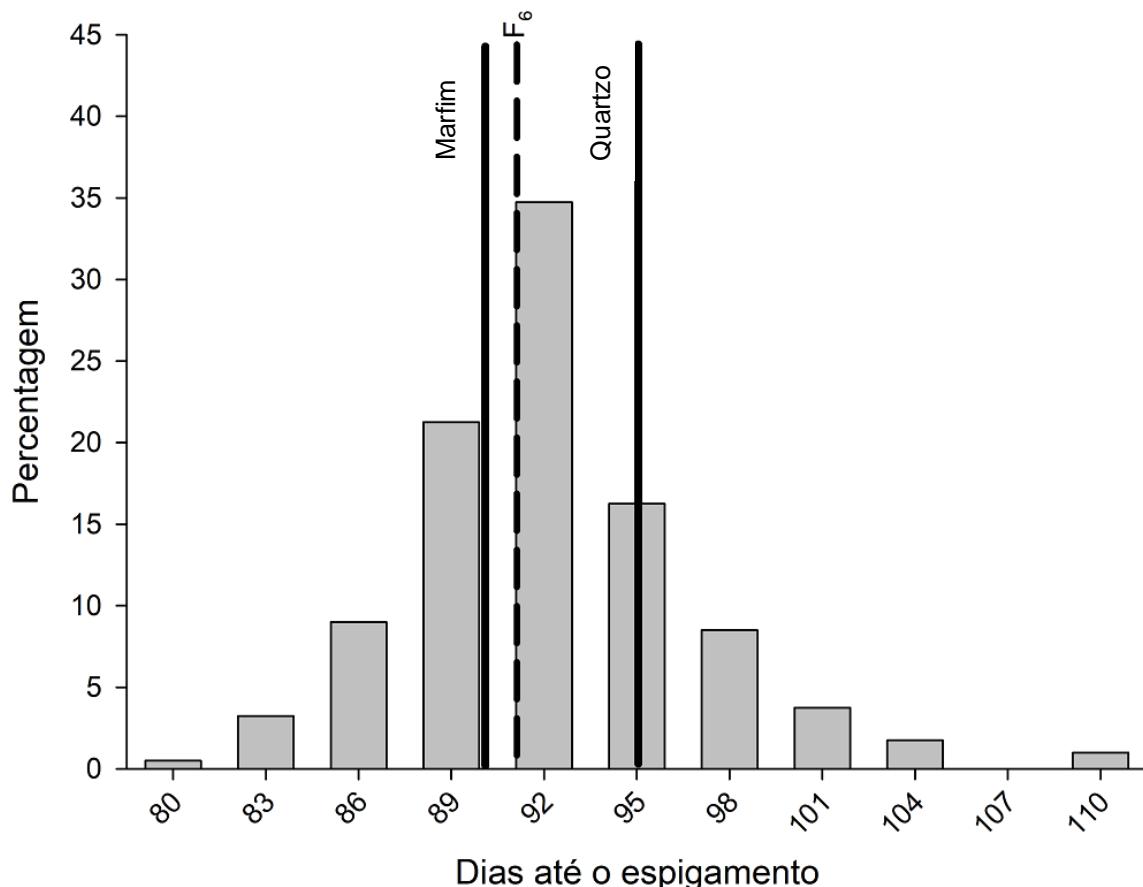


Figura 3 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo e seus genitores para o caráter dias ao espigamento (DAE, em dias). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Para dias até a maturidade fisiológica, o caráter mostrou assimetria positiva com um valor de 0,68, e um coeficiente de curtoze de 0,14, enquadrando a distribuição dos dados como leptocúrtica (Figura 4). A média da população foi de 137 dias, mostrando novamente tendência ao genitor Marfim cujo ciclo é mais precoce (135 dias). Cabe salientar para esta característica que 39% das linhagens se mostraram

como segregantes transgressivos negativos em relação aos genitores, quer dizer, indivíduos de maior precocidade. A variável apresentou um coeficiente de variação baixo, de somente 3,72.

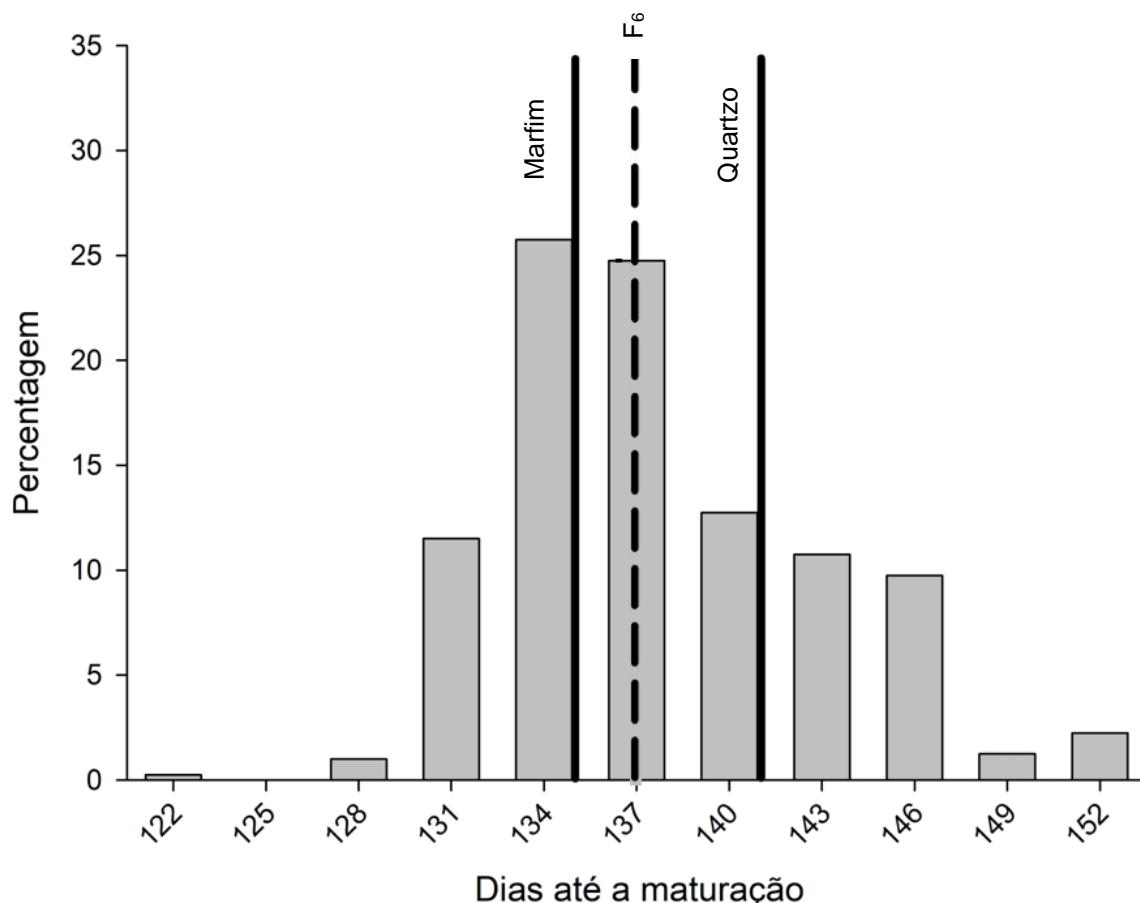


Figura 4 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter dias até maturação (DAM, em dias). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

A busca por precocidade nas culturas agrícolas tem sido constante assim como para o trigo, sobretudo em regiões onde é preciso conciliar duas safras no mesmo ano. Tal é o caso da região tritícola no sul do Brasil, a qual é responsável por 90% da produção nacional e onde a cultura do trigo é sucedida por outras como soja e milho (GIACOMIN, 2017; NEDEL; GONZÁLEZ; PESKE, 1999). De fato, a agricultura é uma atividade em que a sustentabilidade econômica muitas vezes só é atingida quando o cultivo de diversas culturas pode ser realizado, e com lucratividade (BIOTRIGO GENÉTICA, 2019). Uma outra vantagem dos genótipos de ciclo precoce está relacionada a uma menor exposição da cultura às condições adversas do clima (MITTELMANN et al., 2001).

Em uma análise estatística, o coeficiente de variação (CV) representa o desvio padrão de dispersão da distribuição de frequência, o qual compreende o grau de concentração dos valores em torno da média. Existe uma classificação proposta por Gomes (1990), onde o CV é considerado baixo, quando inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, quando entre 20 e 30%; e muito alto, quando superior a 30%. Tem-se que a classificação do CV é inversamente proporcional à precisão do experimento, ou seja, quanto maior o CV menor a precisão experimental. Neste estudo, porém, os coeficientes de variação não representam a precisão experimental, já que o delineamento utilizado não compreendeu o uso de repetições, mas sim serve como uma medida de variação entre as linhagens.

Quanto aos dados de estatura de planta, a população apresentou assimetria negativa em relação a distribuição normal, apresentando um valor de $S = -0,25$, assim com tendência da curva à esquerda (Figura 5). Foi também observado um coeficiente de curtose de 0,91, permitindo classificar a distribuição como leptocúrtica, com uma variação nos dados de 48 a 81 cm e uma média geral de 66 cm, muito próxima a média do genitor Quartz (65 cm). Um total de 34% dos indivíduos da população resultou em segregantes transgressivos negativos quando comparados com a média geral da população, assim como com a média de ambos genitores, indicando que existe variabilidade para seleção de indivíduos de menor estatura. O coeficiente de variação observado foi de 7,66% considerado também baixo.

A redução da estatura de plantas é um caráter desejado no melhoramento, pois representa grandes vantagens para a cultura do trigo, por estar relacionado com menores índices de acamamento e maior produção de grãos em relação a biomassa total da planta (OLIVEIRA et al., 2011; SCHMIDT, 2008).

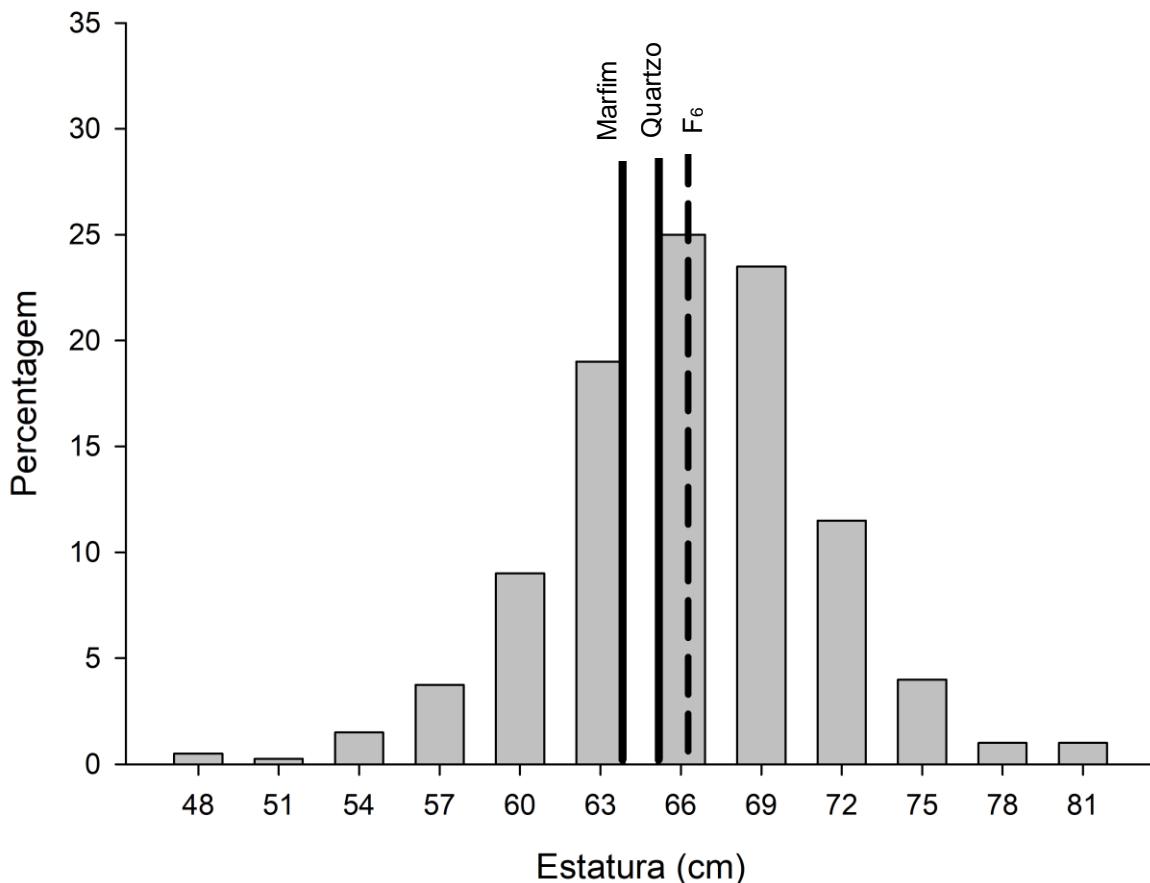


Figura 5 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter estatura de planta (EST, em cm). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

O caráter de acamamento mostrou um valor de assimetria de 0,3, representando uma curva positiva, ao contrário do coeficiente de curtose cujo valor foi negativo (-1,66) classificando a população como platicúrtica (Figura 6). Mais da metade da população ficou abaixo da média geral (40% de acamamento) e 47% das linhagens não apresentaram acamamento nenhum. Além disso, 48% dos indivíduos se mostraram segregantes transgressivos negativos em relação aos pais, isto é, com uma tendência ao genitor Quartzo que se mostrou menos sensível a este caráter.

O coeficiente de variação para o caráter de acamamento foi muito alto (104,54%). De fato, segundo Costa, et. al. (2002, p. 256), existe a necessidade de considerar uma classificação específica do coeficiente de variação para cada variável avaliada, ao passo que estas apresentam distintas naturezas. No caso da avaliação de acamamento, cuja variável apresenta normalmente grande variabilidade devido ao efeito do ambiente e a qual na grande maioria das vezes é avaliada de forma visual,

por meio de notas, uma acuidade do avaliador é altamente necessária, ainda assim, não garantindo alta precisão (GOMES, 1990).

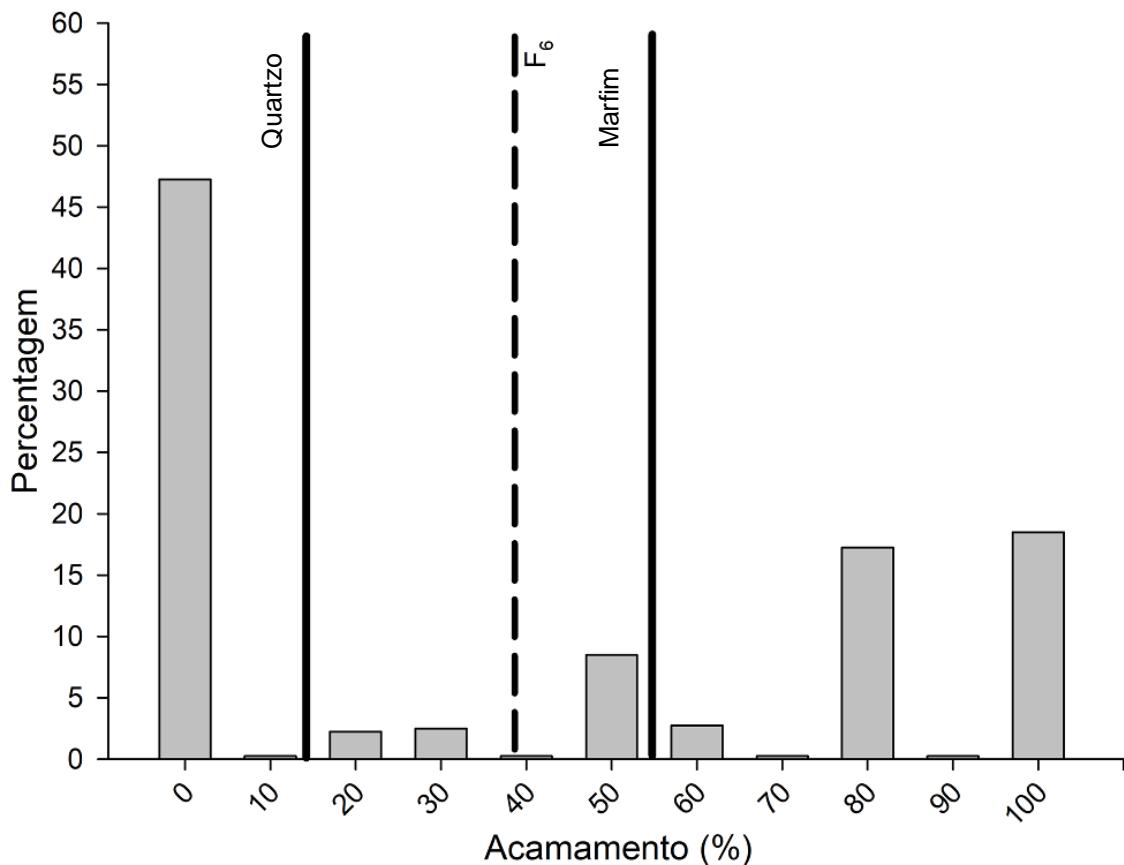


Figura 6 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter acamamento (ACM, em porcentagem). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Em relação ao caráter peso de mil grãos, é possível observar que a média da população (35,13 g) se posicionou entre as médias dos genitores (36,60 e 34,23 g), o que os classifica como grãos de tamanho pequeno à médio, segundo a classificação de Williams (1988) para a qualidade de grãos dada por esta variável. Analisando mais profundamente os resultados, verifica-se que abrangeram valores de 27 até 51,9 g, e, neste intervalo, 38% dos indivíduos transgrediram positivamente em relação a ambos genitores com valores acima dos 36 g, destacando-se uma linhagem com valor mais alto (51,9 g). Os dados expressaram um coeficiente de assimetria positiva (0,36), o coeficiente de curtose apresentou um valor de 1,25, o qual caracterizou a população como de tipo leptocúrtica (Figura 7). Cabe salientar que o coeficiente de variação para este componente foi novamente baixo (9,61%).

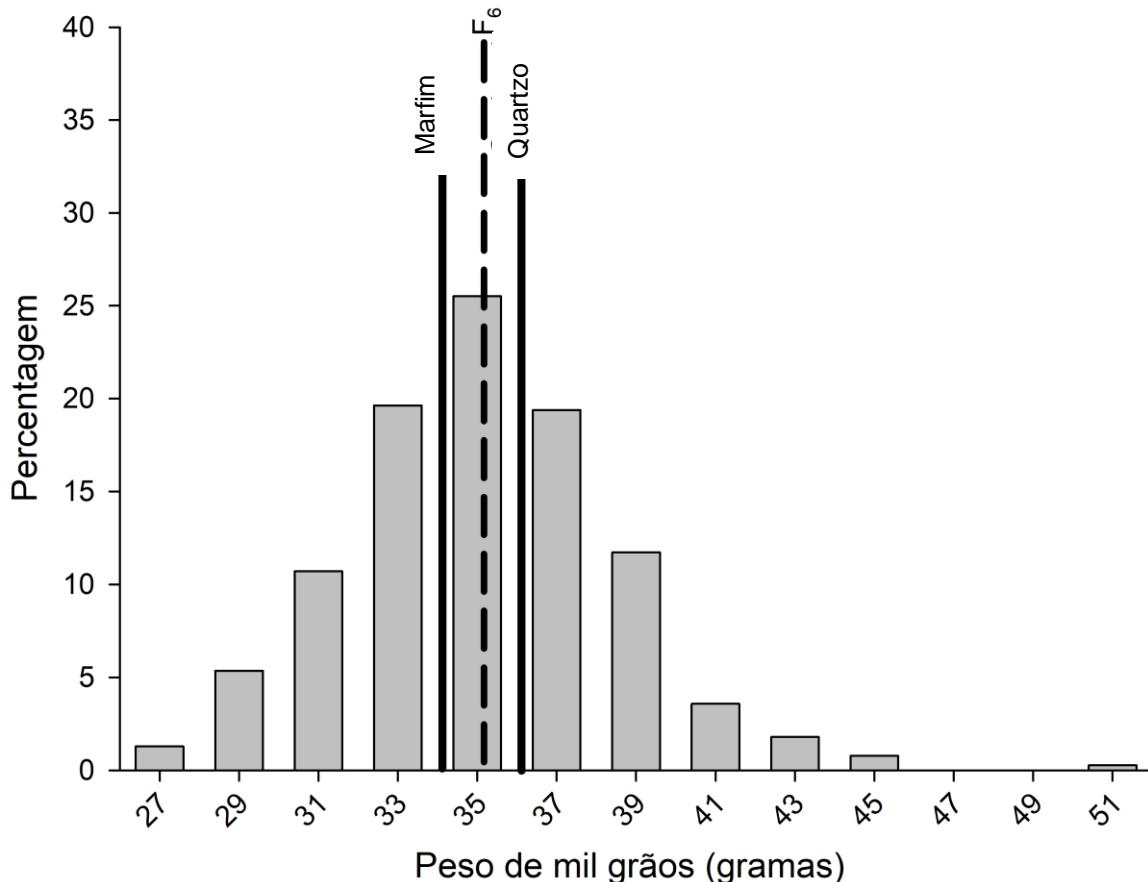


Figura 7 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter peso de mil grãos (PMG, em unidades). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

O peso de grãos é um componente de rendimento altamente importante para a produtividade final da cultura (BREDEMEIER; MUNDSTOCK; BÜTTENBENDER, 2001). Ainda assim, nem sempre um tamanho muito grande dos grãos (sendo o tamanho associado ao peso) é um atributo desejável. A indústria geralmente prefere grãos de tamanho médio, tanto para evitar problemas na moagem causados por grãos muito grandes como, por outro lado, evitar perdas na produção de farinha ocasionadas pelo fato de os grãos pequenos passarem pelas peneiras de limpeza e não serem aproveitados (GUARIENTI, 1996). Isto significa que o melhoramento precisa ajustar o seu esforço em melhorar a produtividade do cereal sem tornar o grão desfavorável à indústria.

Para a variável de comprimento da espiga, os dados mostraram assimetria positiva, com um valor de $S = 0,03$, e curtose de 0,29, enquadrando a distribuição de frequências como leptocúrtica (Figura 8). No caso deste caráter, a população

expressou um coeficiente de variação médio, de 11,37%. Além disso, a média geral da população (8,1 cm) teve tendência ao genitor Marfim (7,9 cm), e 17% das linhagens se mostraram como transgressivas positivas, superando aos dois pais com valores de até 11,1 cm de comprimento. Apesar de algumas destas linhagens terem se sobressaído em relação à população e aos genitores para esta variável, é importante mencionar que nem sempre uma espiga de maior comprimento garante um maior número de grãos e produtividade, isto é, há uma associação, porém nem sempre direta. Pois, o comprimento da espiga afeta o número de espiquetas por espiga, o qual por sua vez, repercute no rendimento.

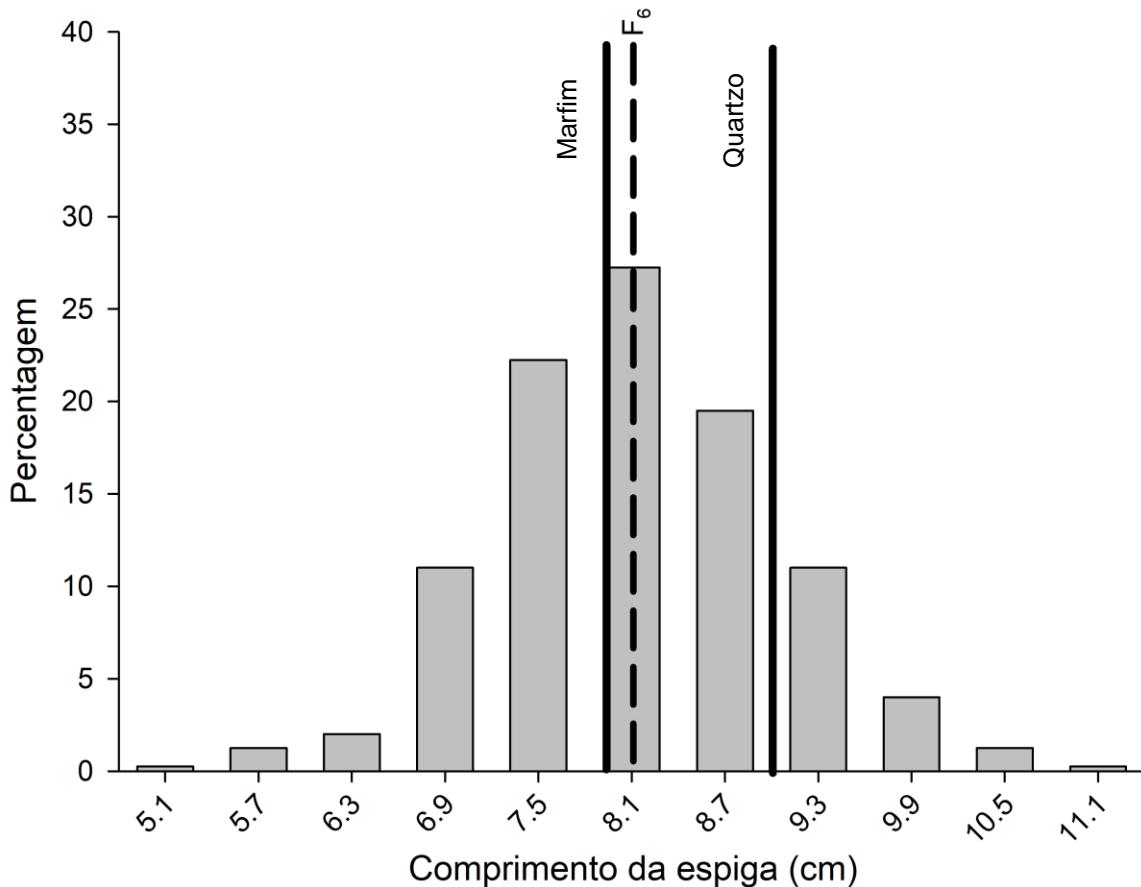


Figura 8 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter comprimento de espiga (CE, em centímetros). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Quanto ao caráter peso da espiga, o valor de $S = 0,04$ caracterizou a população como assimétrica positiva, e mesocúrtica ou de distribuição normal, pelo valor de curtose muito próximo a zero ($K = -0,01$) (Figura 9). Os dados apresentaram um coeficiente de variação alto (20,23%), indicando considerável variabilidade genética na população. Cabe salientar que 40% da população mostrou segregação

transgressiva positiva atingindo valores de até 3,27 g, comparada com o valor de 2 g da média geral. Este caráter pode auxiliar na seleção indireta quando se procura aumentar o rendimento de grãos, pois é outro caráter não diretamente associado ao rendimento, já que somente parte deste peso se constitui dos grãos (CAIERÃO et al., 2001).

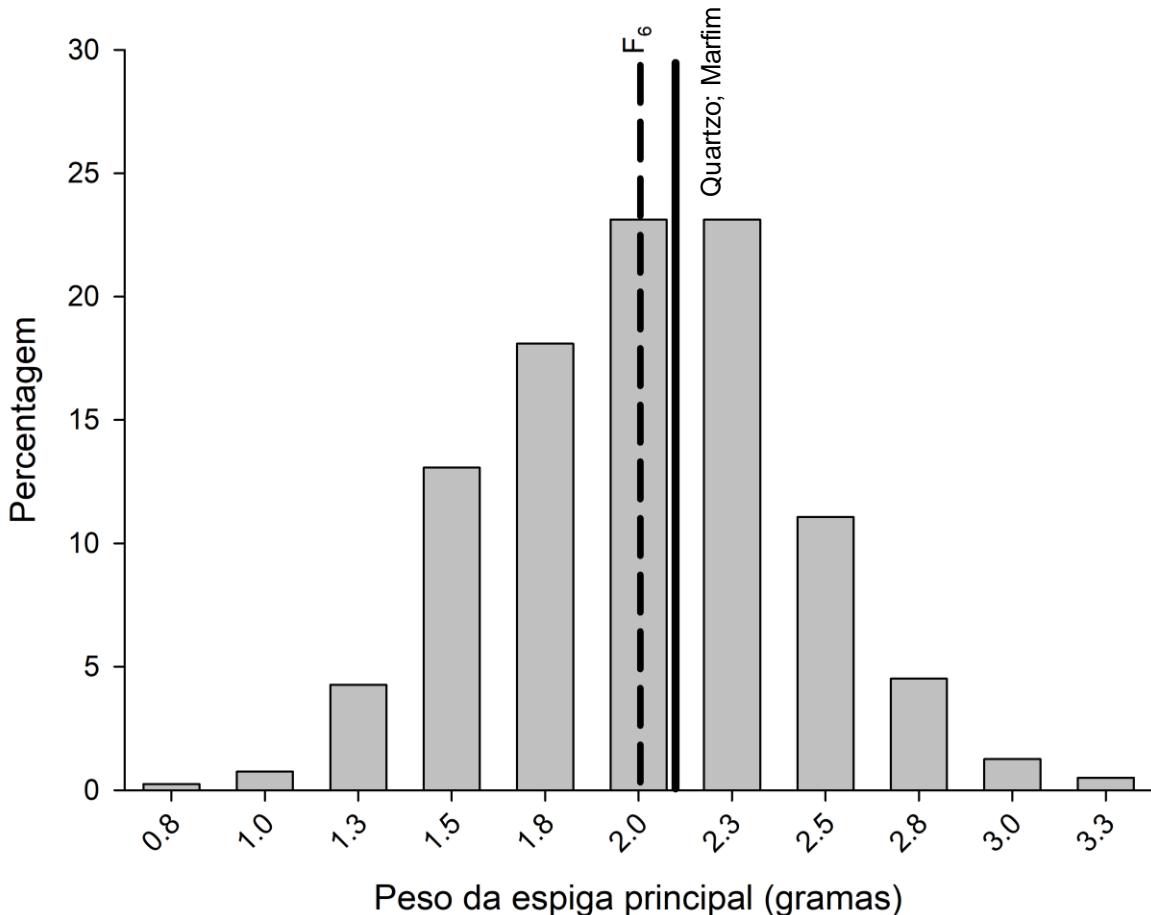


Figura 9 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter peso da espiga (PE, em gramas). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Referente ao número de espiguetas por espiga, a população expressou uma média de 15 espiguetas, muito próximo a média de ambos os pais (16 espiguetas), com valores que oscilam de 12 a 20 espiguetas. Aproximadamente 26% da população apresentou uma média igual aos pais, e 20% transgrediram aos genitores chegando a quantificar até 20 espiguetas por espiga (Figura 10). O coeficiente de variação para este caráter foi de 10,43% considerado médio. A população apresentou assimetria

positiva (0,08), assim mesmo, foi classificada como platicúrtica por apresentar valores inferiores a zero ($K = -0,10$), o que indica uma alta variabilidade para este caráter.

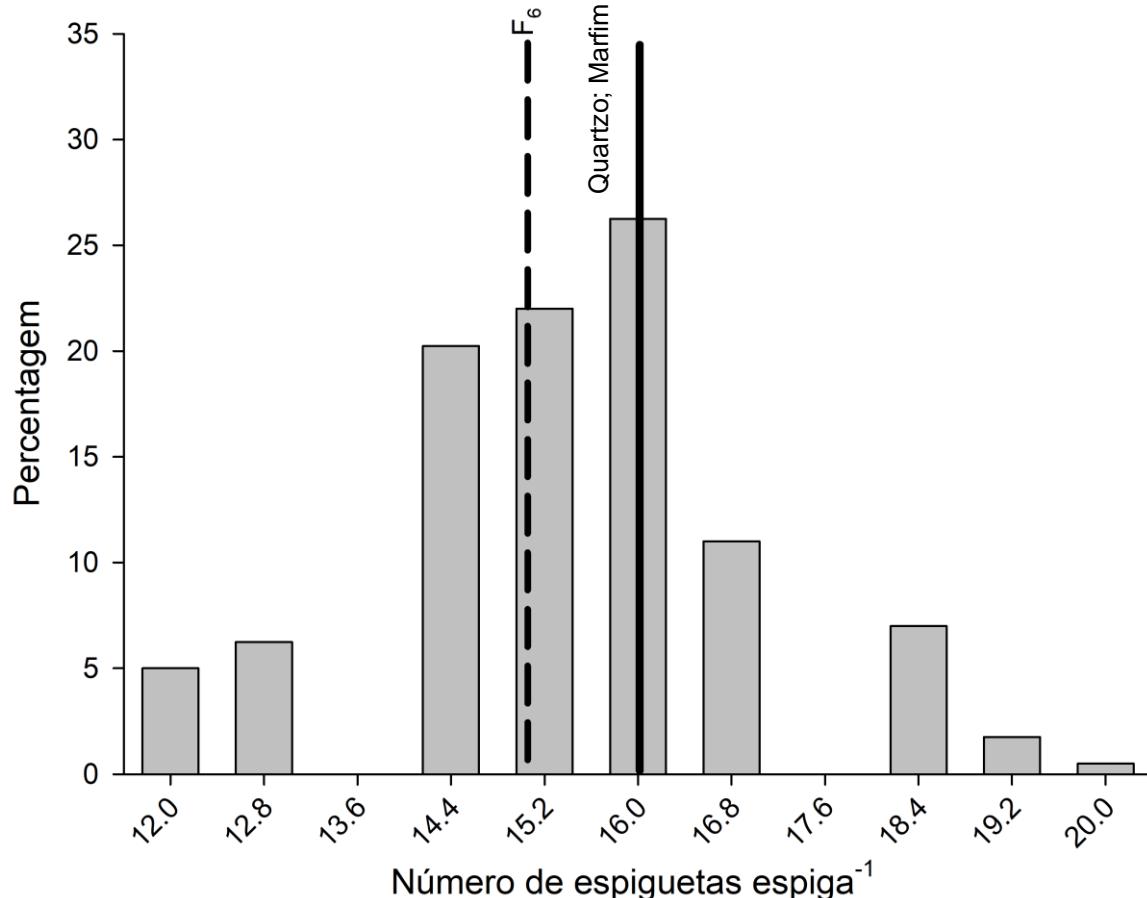


Figura 10 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter número de espiguetas por espiga (NEE, em unidades). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Em relação à variável peso de grãos por espiga, observou-se uma assimetria negativa dos dados, com valor de $S = -0,02$, e o coeficiente de curtose de 0,03, enquadrando a população como mesocúrtica, por representar este valor muito próximo a zero (Figura 11). Neste caso, foi expresso um coeficiente de variação de 21,53% considerado alto, e a média geral do caráter foi de 1,49 g, equivalente à média dos pais. Cabe salientar que 40% dos genótipos se mostraram transgressivos positivos, com valores acima dos genitores, atingindo até 2,46 g por espiga.

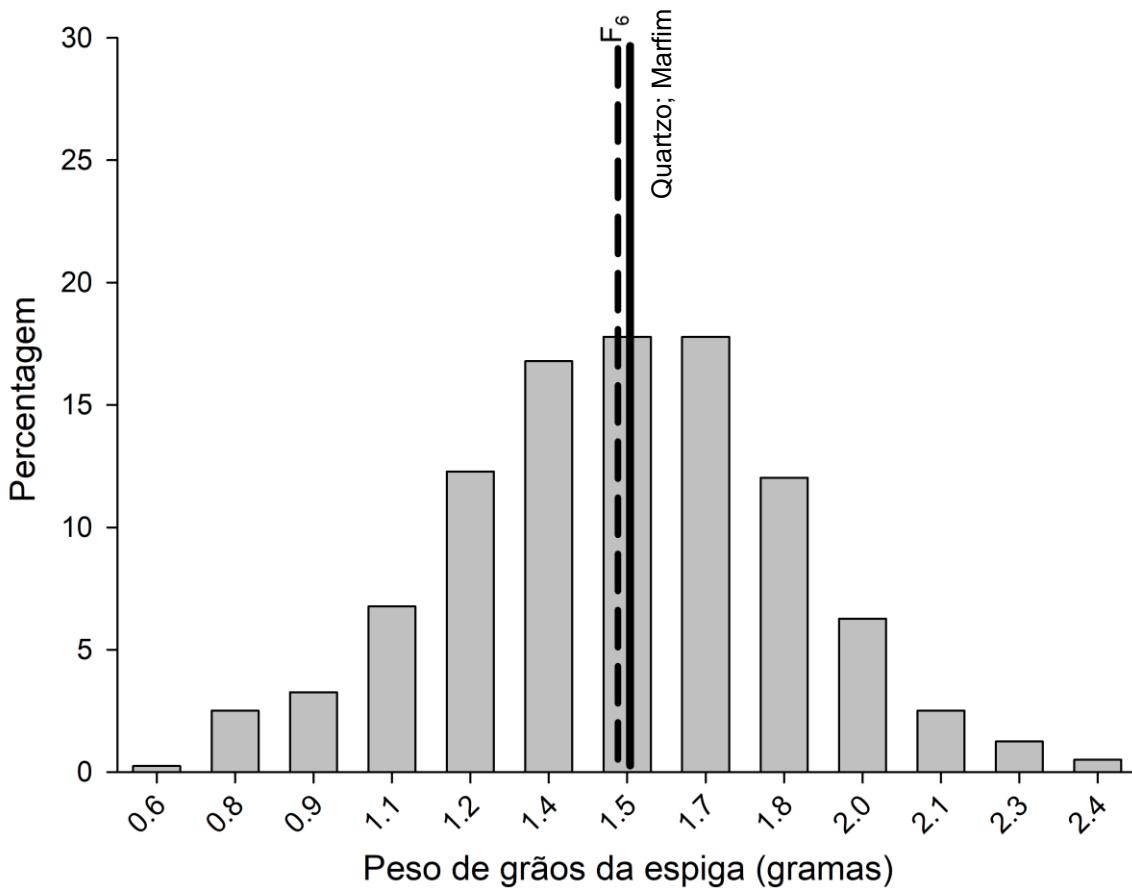


Figura 11 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter peso de grãos por espiga (PGE, em gramas). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Quanto aos resultados de número de grãos por espiga, os dados mostraram assimetria positiva (0,15), e curtose de 0,16, classificando a distribuição de frequências como leptocúrtica (Figura 12). A variação entre os valores máximos e mínimos foi de 17 até 63 grãos (duas linhas), e neste caso a análise apresentou um coeficiente de variação médio de 18,36%. Além disso, a população mostrou uma média de 42 grãos por espiga, similar a média do genitor Marfim, e 39% da população se mostrou como segregante transgressiva positiva acima dos pais. Este caráter é um componente de rendimento que se origina do número de espiguetas por espiga e que está fortemente associado ao rendimento de grãos (FRANCO; CARVALHO, 1985).

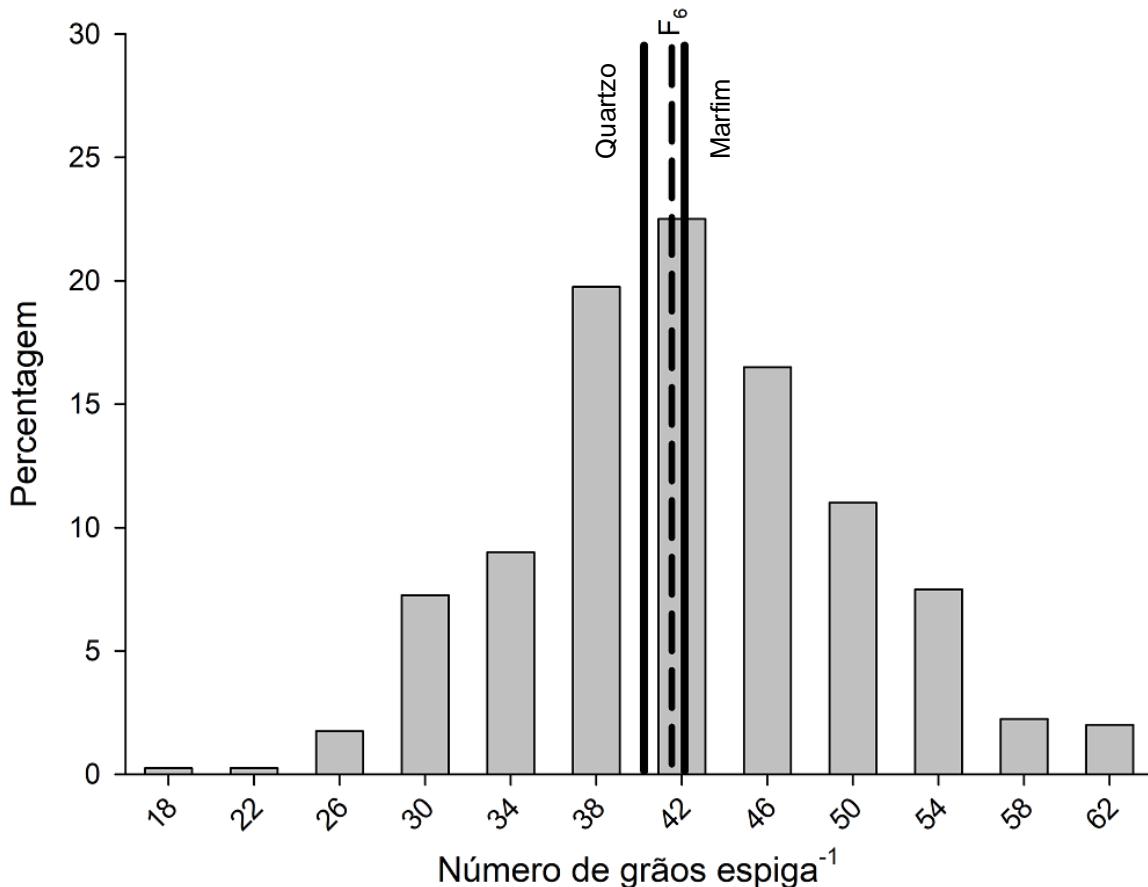


Figura 12 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter número de grãos por espiga (NGE, em unidades). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Para o caráter de germinação visual na espiga, os resultados foram expressos em notas de 1 até 3, representando os graus de germinação (1 = baixo; 2 = médio; 3 = alto). A média geral da população foi nota 1,84, abaixo da média de Quartzo, o genitor mais tolerante (nota 1,9). Ainda, os dados apresentaram assimetria positiva de 0,22, tipo de gráfico leptocúrtico com valor de $K = 0,45$ (Figura 13) e alto coeficiente variação (24,00%). Um total de 52,39% da população se mostrou como segregante transgressiva, mostrando maior tolerância à germinação na espiga. Um resultado interessante foi que aproximadamente 3% da população apresentou a nota mais baixa (1) quanto a este caractere, linhas as quais poderiam ser selecionadas como tolerantes num programa de melhoramento. Em um trabalho semelhante, a metodologia de determinação da germinação por meio de notas visuais foi eficiente para a avaliação rápida de grande número de genótipos (FRANCO et al., 2009). Porém, mesmo sendo um método eficiente, teria dificuldades para discernir entre as cultivares de maior tolerância e as de tolerância parcial, pelo que se catalogaria como

um método mais prático que permite identificar pelo menos as cultivares mais suscetíveis.

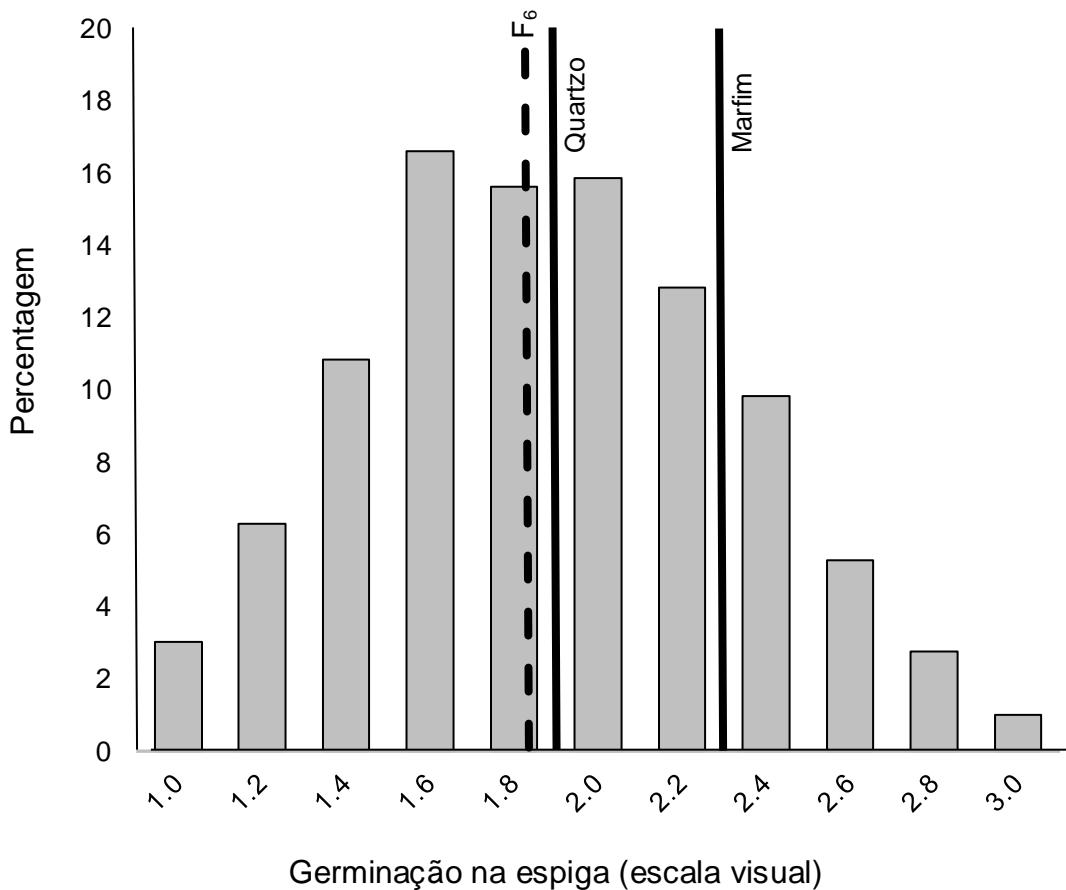


Figura 13 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter germinação na espiga visual (GEV, em escala visual de 1 a 3). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

Finalmente, em relação à porcentagem de germinação na espiga, é possível observar um resultado positivo na população com uma média de 41% que fica abaixo das médias dos pais (47% e 53%), num intervalo de germinação de 5 a 83%, porém com um coeficiente de variação dos dados muito alto, isto é, superior a 30% o que indica a ampla variação nos indivíduos da população. A população foi classificada como platicúrtica (Figura 14) por apresentar valor da medida de curtose ($K = -0,48$) e de assimetria positiva de 0,42. Isto representa um resultado positivo quanto a segregação dos genótipos mostrando ampla variabilidade, pois 59% deles mostraram-se superiores comparados com a média do genitor mais tolerante à germinação. Dentro deste grupo, destacam-se três linhagens por apresentarem valores de germinação menores de 25%. Enfatiza-se que estas ao mesmo tempo superaram aos

pais na maioria dos outros caracteres (dados não apresentados). O teste realizado para determinação da porcentagem de germinação permitiu identificar os genótipos quanto à resposta a germinação na espiga.

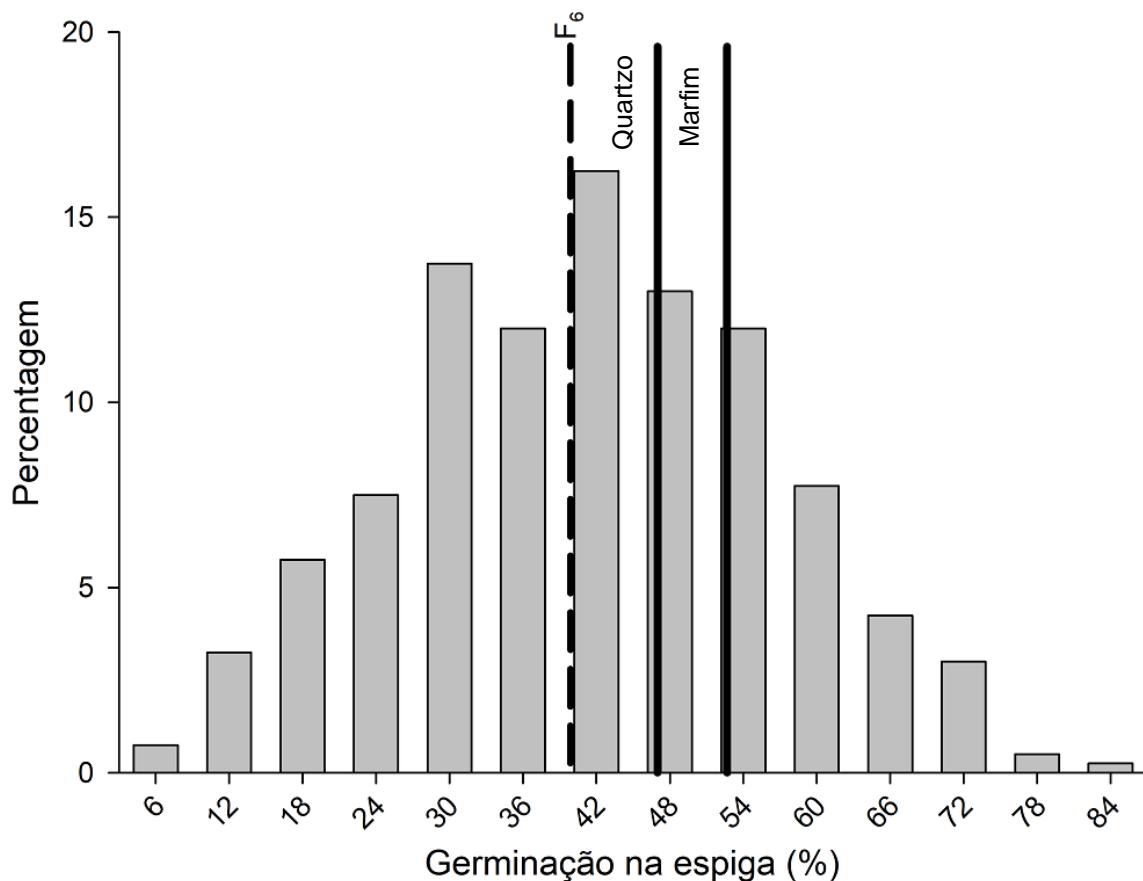


Figura 14 - Distribuição de frequências de uma população de RILs de trigo para o caráter porcentagem de grãos germinados (GEQ, em porcentagem). CGF/FAEM/UFPel, 2017.

De modo geral, cada variável apresentou singularidades. O coeficiente de variação, por exemplo, foi considerado alto para os caracteres de ACM, PE, PGE, GVE e GEQ, fazendo referência à mais alta variação entre os genótipos para estes caracteres. Ainda, os caracteres DAE e DAM apresentaram assimetria moderada, e todos os outros caracteres mostraram distribuição aproximadamente simétrica.

3.3.2 Análise de correlação entre os caracteres agronômicos na população

No melhoramento de plantas, as estratégias de seleção podem ser trabalhosas e demoradas quando são realizadas diretamente sobre o caráter-alvo. Essa dificuldade pode ser contornada pela seleção de populações desde seus componentes de rendimento e outros caracteres de adaptação que, indiretamente repercutem positivamente no caráter de interesse. Entretanto, a seleção indireta exige a condição de alta correlação entre a variável-alvo e a variável que está sob seleção, especialmente quando se objetiva selecionar mais de um caráter simultaneamente, ou quando o caráter é de baixa herdabilidade ou de difícil mensuração. Os estudos sobre correlação entre caracteres, permitem conhecer os efeitos causados pela seleção, isto é, a correlação genética dada por pleiotropia, por exemplo, onde mais de um caráter pode estar sendo expresso pelo mesmo gene. Isto permite saber se os caracteres são independentes ou se permanecem associados nas progênieis durante as gerações posteriores, podendo afetar simultaneamente outros caracteres (FALCONER; MACKAY, 1996; HARTWIG et al., 2007). Em suma, caracteres com alta correlação com aqueles de interesse podem ser considerados para a seleção de genótipos em uma população desenvolvida para melhoramento (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Na Tabela 2 estão descritos os coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres avaliados neste estudo. Para a classificação dos níveis das magnitudes dos coeficientes de correlação estimados para cada variável, foram utilizadas as classes categóricas citadas por Mukaka (2012) apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos coeficientes de correlação de acordo com sua magnitude.

Valor do coeficiente de correlação de Pearson	Nível de correlação
0 a 0,3	Muito baixa
0,3 a 0,5	Baixa
0,5 a 0,7	Moderada
0,7 a 0,9	Alta
0,9 a 1	Muito alta

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres agronômicos avaliados na população. CGF/FAEM/UFPel 2017.

	DAE	DAM	EST	ACM	PMG	CE	PE	NEE	PGE	NGE	GEV	GEQ
DAE	1	0,595 *	0,064 NS	-0,347 *	0,078 NS	0,077 NS	0,185 *	0,237 *	0,106 *	0,144 *	-0,078 NS	0,116 *
DAM		1	0,129 *	-0,440 *	0,246 *	0,320 *	0,334 *	0,318 *	0,248 *	0,221 *	-0,071 NS	0,012 NS
EST			1	0,158 *	0,184 *	0,257 *	0,202 *	0,354 *	0,222 *	0,207 *	-0,028 NS	-0,054 NS
ACM				1	-0,012 NS	-0,061 NS	-0,126 *	-0,002 NS	-0,074 NS	-0,012 NS	0,064 NS	-0,097 NS
PMG					1	0,198 *	0,380 *	0,170 *	0,360 *	0,083 NS	0,117 *	0,120 *
CE						1	0,565 *	0,595 *	0,499 *	0,533 *	-0,108 *	-0,162 *
PE							1	0,513 *	0,952 *	0,800 *	-0,005 NS	0,021 NS
NEE								1	0,512 *	0,638 *	-0,067 NS	-0,070 NS
PGE									1	0,822 *	0,012 NS	0,035 NS
NGE										1	-0,014 NS	0,016 NS
GEV											1	0,521 *
GEQ												1

DAE = dias ao espigamento; DAM = dias a maturação; EST = estatura de planta (cm); ACM = acamamento (%); PMG = peso de mil grãos (g); CE = comprimento da espiga (cm); PE = peso da espiga (g); NEE = número de espiguetas por espiga; PGE = peso de grãos por espiga (g); NGE = número de grãos por espiga; GEV = germinação na espiga (escala visual); GEQ = germinação na espiga (%); * = Significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo teste t; NS = Não significativo. Colorização para uma melhor visualização dos coeficientes de significância de acordo com a classificação dos coeficientes de correlação de Pearson citada por Mukaka, 2012.

Os coeficientes de correlação obtidos neste estudo revelaram que existem diferenças tanto na magnitude, como no sentido das correlações entre os caracteres avaliados para esta população. Conforme a interpretação do coeficiente de correlação de Pearson, a variável dias até espigamento (DAE) presentou correlação positiva moderada (0,595) em relação com o caráter dias até maturação (DAM), além do que, ambas variáveis revelaram correlação negativa e baixa quando comparadas com a porcentagem de acamamento (ACM). Por seu lado, DAM também mostrou baixa correlação, mas no sentido positivo, com as varáveis relacionadas à espiga: comprimento da espiga (0,320), peso da espiga (0,334) e número de espiguetas por espiga (0,318).

O caráter de estatura de planta (EST) se correlacionou positivamente com o número de espiguetas por espiga (NEE), porém a correlação foi considerada baixa (0,354). De igual modo que o peso de mil grãos (PMG) mostrou correlação positiva baixa comparado com as variáveis peso da espiga (PE) e peso de grãos por espiga (PGE), com valores de correlação de 0,38 e 0,36, respectivamente.

Por outro lado, a falta de correlação observada entre peso de mil grãos e número de grãos por espiga, pode ser explicada pelos mecanismos compensatórios entre esses caracteres, dado que, é mais difícil um genótipo alcançar elevado número de grãos com alto peso. Coeficientes de correlação baixos não necessariamente representam falta de associação entre os caracteres, mas sim, inexistência de causa e efeito, ou melhor ainda, inexistência de uma relação linear entre estes (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Os caracteres que compõem a espiga principal: comprimento da espiga (CE), número de espiguetas por espiga (NEE), peso da espiga (PE), peso de grãos por espiga (PGE) e número de grãos por espiga (NGE), se correlacionaram entre eles de forma positiva e em diferentes magnitudes. Cabe salientar que houve uma tendência do caráter NEE se correlacionar positivamente com os outros quatro caracteres da espiga (CE, PE, PGE e NGE), porém em magnitude moderada. Nessas associações observa-se que tais caracteres se modificam em conjunto, ou seja, o aumento no número de espiguetas por espiga, resulta no incremento dos outros quatro caracteres. Esses resultados concordam com os encontrados por Hartwig et al. (2007), para correlação entre número de espiguetas e os outros mesmos caracteres.

Por outro lado, as correlações entre os caracteres especificamente relacionados com peso da espiga, se mostraram todas altas, com estimativas de 0,952 para PE x PGE, 0,8 para PE x NGE e 0,822 para PGE x NGE. De fato, estas correlações ocorrem de forma esperada, pois são caracteres que compõem o peso da espiga, sendo o peso dos grãos o caráter mais influente no aumento do peso da espiga, devido a palha da espiga representar uma porção menos significante no peso total da espiga. Por sua parte, o número de grãos por espiga é um componente fortemente ligado ao rendimento de grãos e deriva do número de grãos por espigueta e do número de espiguetas por espiga (FRANCO; CARVALHO, 1985).

As análises de correlação evidenciaram associação linear entre o caráter germinação na espiga e os caracteres dias até espigamento, comprimento da espiga e peso de mil grãos; além disso, a porcentagem de grãos germinados apresentou uma correlação positiva considerável com a avaliação visual da germinação (0,521). Tanto o método de determinação da porcentagem de germinação, quanto o método de notas visuais de germinação, permitiram classificar os genótipos quanto a sensibilidade a germinação na espiga, na medida em que permite discriminar facilmente os genótipos suscetíveis. No entanto, o método de contagem dos grãos identificou com maior acurácia os segregantes transgressivos representados por 59% dos indivíduos, e por outro lado, o método de avaliação com notas visuais, identificou apenas 20% dos indivíduos como tolerantes. Porém, em concordância com Franco et al. (2009), a caracterização por meio da atribuição de notas visuais de germinação, consiste em um método mais rápido, simples e eficiente quando se requer de avaliar um grande número de cultivares, contrário ao método de contagem de grãos germinados, o qual demanda maior tempo e esforço para a sua avaliação pois requer a trilha dos grãos.

Contudo, os resultados apontaram boa coincidência entre as duas metodologias, sugerindo o uso de notas visuais em um programa de melhoramento, por ser um procedimento mais prático para a avaliação de grande número de cultivares para seleção à tolerância à germinação na espiga.

As correlações fenotípicas observadas neste trabalho permitiram estimar o grau de associação linear entre os caracteres analisados para a população. Todavia, de maneira geral, as correlações entre os caracteres foram de baixa magnitude, possivelmente por serem dependentes indiretamente de outros caracteres e também muito influenciados pelo ambiente (CAIERÃO et al., 2001).

Como já dito o fato de não ter havido correlação linear significativa para vários pares de caracteres, ou mesmo o fato do coeficiente de correlação ter se apresentado baixo para outras, não significa que não há associação entre estas variáveis, mas sim, que a associação não é do tipo linear. Assim, outro tipo de análise de correlação poderia ser necessário para evidenciar tais associações, como a análise de trilha.

De acordo com Cruz e Regazzi (1994), a existência de correlações significativas sugere a viabilidade da seleção indireta para o melhoramento no caráter de maior importância econômica, o qual também depende da herdabilidade do caráter considerado.

Finalmente, a população estudada se mostra promissora tanto para o desenvolvimento de genótipos superiores quanto como população para mapeamento de QTL para tolerância ao fator em questão, e para tanto, continua sendo estudada. Neste sentido, na safra 2018, a mesma foi novamente avaliada à campo, e inclusive, outros caracteres foram incluídos, tais como número de queda (*Falling number*), coloração do grão e da farinha, entre outros. Ainda, uma amostra da população, contendo 148 linhagens em adição aos pais, foi recentemente enviada para genotipagem por sequenciamento através da tecnologia DArTSeq, no laboratório de *Servicio de Análisis Genéticas para la Agricultura* (SAGA) do CIMMYT – México. Espera-se ao final da pesquisa, que genótipos promissores sejam selecionados, para integrarem programas de melhoramento ou mesmo serem lançados como cultivares e ainda, por outro lado, o mapeamento de um importante número de QTL e diagnóstico de um expressivo número de marcadores moleculares para uso na seleção assistida para tolerância à germinação na espiga em programas de melhoramento de trigo.

3.4 Conclusões

A análise de estatística descritiva e distribuição de frequências permitiram identificar as diferentes classes fenotípicas em que foi dividida a população em relação aos caracteres agronômicos avaliados. Além disso, revelou genótipos que se mostraram segregantes transgressivos positivos em relação aos genitores, quanto à tolerância à germinação na pré-colheita.

Os métodos de germinação na espiga avaliados, são eficientes para identificar e discriminar os genótipos mais suscetíveis, sendo o método de avaliação visual mais simples e rápido comparado com a contagem de grãos germinados, porém não permite discriminar com facilidade de genótipos de tolerância média e alta.

3.5 Considerações finais

Foi observada na população uma importante variabilidade genética que pode ser explorada para o melhoramento dos caracteres estudados.

A população estudada se mostra promissora tanto para o desenvolvimento de genótipos superiores quanto como população de mapeamento de QTL para tolerância ao caráter.

A mesma continua portanto, sendo estudada visando diagnosticar marcadores moleculares para uso na seleção assistida pela tolerância à germinação na espiga.

Referências Bibliográficas

ABITRIGO. **História do Trigo e da Farinha de Trigo.** 2019. Disponível em: <<http://www.abitrido.com.br/conhecimento-trigo.php>>. Acesso em: 24 maio. 2019.

ANDERSON, W. K.; GARLINGE, J. R. **The Wheat book : principles and practice.** Western: Department of Agriculture and Food, 2000. 320 p.

BARBIERI, Rosa Lía; STUMPF, Elisabeth Regina Tempel. **Origem e evolução de plantas cultivadas.** Brasília: Embrapa, 2008. 912 p.

BASSOI, Manoel Carlos; FLINTHAM, John. Relationship between grain colour and preharvest sprouting-resistance in wheat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 981–988, 2005.

BELEIA, Adelaide; EIRAS, Maria Victoria. Germinação pre-colheita de trigo: efeitos na qualidade do grão e da farinha. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasilia, v. 25, p. 1797–1804, 1990.

BIOTRIGO GENÉTICA. **No RS, trigo de 120 dias permite antecipação da semeadura da soja.** 2019. Disponível em: <<http://biotrigo.com.br/bionews/no-rs-trigo-de-120-dias-permite-antecipacao-da-semeadura-da-soja/1527>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

BORÉM, Aluízio; MIRANDA, Glauco Vieira. **Melhoramento de plantas.** 6.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 523 p.

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análises de sementes.** Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 399 p.

BREDEMEIER, Christian; MUNDSTOCK, Claudio Mario; BÜTTENBENDER, Daniel. Efeito do tamanho das sementes de trigo no desenvolvimento inicial das plantas e no rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 8, p. 1061–1068, 2001.

CAIERÃO, Eduardo et al. Seleção indireta em aveia para o incremento de grãos. **Ciencia Rural**, v. 31, n. 2, p. 231–236, 2001.

CAIERÃO, Eduardo et al. Origem, evolução e melhoramento genético. In: **Trigo, o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Passo Fundo: Embrapa, 2016. p.15-29.

CARPENTIERI-PÍPOLO, Valéria et al. Repetibilidade na germinação pré-colheita em trigo. In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 8, 2014, Canela. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2015.

CEPEA/ESALQ. **Cotação e Preço do Trigo.** 2019. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/trigo>>. Acesso em: 24 maio. 2019.

CGIAR. **CIMMYT manages diverse collections of maize and wheat.** 2019. Disponível em: <<https://www.genebanks.org/genebanks/cimmyt/>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos - Resumo.

Monitoreamento Agrícola Safra 2019, v. 6, p. 25, 65, 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>

COSTA, Nilce Helena de Araújo Diniz; SERAPHIN, José Carlos; ZIMMERMANN, Francisco José Pfeilsticker. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 243–249, 2002.

CRUZ, Cosme Damião; REGAZZI, Adair José. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 390 p.

CRUZ, Cosme Damião. **Programa GENES: Estatística experimental e matrizes**. 1.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 283 p.

CUNHA, Gilberto Rocca da; PIRES, João Leonardo Fernandes. **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 320 p.

CUNHA, Gilberto Rocca; CAIERÃO, Eduardo; ROSA, André Cunha. **Informações Técnicas para Trigo e Triticale-Safra 2016**. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2016. 228 p.

DALL'AGNOL, Amélio. **A produção atual de grãos é suficiente para alimentar todo o planeta**. 2018. Disponível em: <<https://blogs.canalrural.uol.com.br/embrapasoja/2018/08/14/producao-e-consumo-global-de-alimentos/>>. Acesso em: 30 maio. 2019.

DE MORI, Claudia et al. **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Soja, 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144769/1/ID43609-2016LVTrigo.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2019.

DERERA, Nick F. **Preharvest field sprouting in cereals**. Sydney: CNC Press, 2018. 183 p.

DHONDT, Stijn.; WUYTS, Nathalie.; INZÉ, Durk. Cell to whole-plant phenotyping: the best is yet to come. **Trends in Plant Science**, v. 18, p. 428–439, 2013.

FALCONER, Douglas Scott; MACKAY, Trudy F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Londres: Longman, 1996. 479 p.

FAO. The state of food security and nutrition in the world 2018. **The state of the world**, Roma, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/publications/card/en/c/CA1354EN>>. Acesso em: 23 maio 2019.

FAO. FAOSTAT. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>>. Acesso em: 23 maio 2019.

FRANCO, Francisco de Asis; CARVALHO, Fernando Irajá Félix. Estimativa do progresso genético no rendimento de grãos de trigo e sua associação com diferentes caracteres sob o efeito de variações de ambiente. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 37, p. 1–9, 1985.

FRANCO, Francisco De Assis et al. Tolerância à germinação na espiga em cultivares de trigo colhido na maturação fisiológica. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2396–2401, 2009.

FRANCO, Francisco de Asis; EVANGELISTA, Adriel. Informações técnicas para trigo e triticale Safra 2018. In: XI REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE 2018, Cascavel, PR, Brasil. **Anais...** Cascavel, PR, Brasil: Coodetec, 2018.

GALARÇA, Simone Padilha et al. Correlação de pearson e análise de trilha identificando variáveis para caracterizar porta-enxerto de Pyrus communis L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 860–869, 2010.

GIACOMIN, Barbara. **Avaliação de populações RILs de trigo para desempenho agronômico e tolerância à germinação na pré-colheita**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Facultade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

GOMES, Frederico Pimentel. **Curso de Estatística Experimental**. 13.ed. Piracicava: ESALQ, 1990. 451 p

GUARENTI, Eliana Maria. **Qualidade industrial de trigo**. 2.ed. Passo Fundo: Embrapa, 1996. 36 p.

GUARENTI, Eliana Maria et al. **Método para Avaliar a Germinação Pré-Colheita em Genótipos de Trigo: Desenvolvimento Analítico e Aplicação**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2017. 47 p.

HAGEMANN, M. G.; CIHA, A. J. Evaluation of methods used in testing winter wheat susceptibility to preharvest sprouting. **Crop Science**, v. 24, n. 2, p. 249, 1984.

HARTWIG, Irineu et al. Estimativa de coeficientes de correlação e trilha em gerações segregantes de trigo hexaplóide. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 203–218, 2007.

JIANG, Xiaoling et al. Genetic Analysis Methods of Quantitative Traits in Wheat. In: **Genetic Analyses of Wheat and Molecular Marker-Assisted Breeding**. Holanda: Springer, 2015. p. 13–40.

KHUSH, Gurdev. Productivity improvement in rice. **Nutrition Reviews**, v. 61, n. 6, p. 114–116, 2003.

LAU, Douglas; SANTANA, Flávio Martins; COSTAMILAN, Leila Maria. Doenças de trigo no Brasil. In: **Trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa, 2011. p. 283–323.

LEÓN, Alberto Edel; ROSSEL, Cristina R. **De tales harinas, tales panes**: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Córdoba: Hugo Báez Editor, 2007, 480 p.

LI, Chengdao et al. Genes controlling seed dormancy and pre-harvest sprouting in a rice-wheat-barley comparison. **Functional & Integrative Genomics**, v. 4, n. 2, p. 84–93, 2004.

LUMPKIN, Thomas; CIMMYT. **Pre-harvest sprouting in wheat**. 2008. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/cimmyt/5123745513>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

MITTELMANN, Andréa et al. Herdabilidade para os caracteres ciclo vegetativo e estatura de planta em aveia. **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p. 999–1002, 2001.

MUKAKA, Mavuto. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69–71, 2012.

NEDEL, Jorge Luiz; GONZÁLEZ, Cirilo Nelson Enrique Molas; PESKE, Silmar Teichert. Variação e associação de características ligadas a formação do grão de genótipos de trigo. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 4, p. 1255–1260, 1999.

BORLAUG, Norman. Feeding a Hungry World. **Science**, v. 318, p. 359, 2007.

NÖRNBERG, Rafael. **Caracterização e predição de genitores visando à tolerância a germinação na pré-colheita em trigo (*Triticum aestivum L.*)**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Facultade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

NÖRNBERG, Rafael et al. Tolerance to preharvest sprouting and yield of wheat genotypes from different breeding programs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 698-706, 2015.

OLIVEIRA, Antônio Costa et al. Brisasul: a new high-yielding white oat cultivar with reduced lodging. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 370–374, 2011.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Universitária/UFPel, 2012. 573 p.

PIANA, Clause Fátima de Brum; CARVALHO, Fernando Irajá Félix. Trigo a cultura que deu suporte à civilização. In: **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília: Embrapa, 2008. p. 912.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE - RCBPTT. **Informações técnicas para trigo e triticale, safra 2015**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 229 p.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE – RCBPTT. **Informações técnicas para trigo e triticale, safra 2018.** Cascavel, PR: Embrapa, 2018. 258 p.

REYNOLDS, Mathew P. et al. **Fitomejoramiento fisiológico I**: enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. México, D.F.: CIMMYT, 2013. 188 p.

SAS 9.4 Software. 2014. Disponível em:
https://www.sas.com/en_us/software/sas9.html. Acesso em: 25 jun. 2019.

SCHEEREN, Pedro Luiz. et al. Melhoramento de trigo no Brasil. In: **Trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa, 2011. p. 427–452.

SCHEREEN, Pedro Luiz; CAIERÃO, Eduardo. Cultivares. In: **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015. p. 91–119.

SCHEREEN, Pedro Luiz; CASTRO, Ricardo Lima; CAIERÃO, Eduardo. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015. p. 35–55.

SCHMIDT, Douglas André Mallmann. **Capacidade combinatória e modificações de ambiente na expressão dos componentes do rendimento de grãos e da qualidade industrial em trigo**. 2008. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

SHU, K. et al. Dormancy and germination: How does the crop seed decide? **Plant Biology**, v. 17, n. 6, p. 1104-1112, 2015.

SIMSEK, Senay et al. Effect of pre-harvest sprouting on physicochemical changes of proteins in wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 2, p. 205–212, 2014.

SOUSA, Cantídio Nicolau Alves De; CAIERÃO, Eduardo. **Cultivares de Trigo Indicadas para Cultivo no Brasil e Instituições Criadoras 1922 a 2014**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 202 p.

SOUZA, Henrique et al. Stay-green character and its contribution in Brazilian wheats. **Ciência Rural**, v. 47, n. 1, p. 1–7, 2017.

THUROW, Liamara Bahr et al. Dynamic characters involved in grain yield and variability of wheat segregating populations. **Communications in Plant Sciences**, v. 8, n. 1, 2018.

VENCOVSKY, Roland.; BARRIGA, Patrício. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VENSKE, Eduardo et al. Bread wheat: a role model for plant domestication and breeding. **Hereditas**, v. 156, n. 1, p. 16, 2019.

WILLAN, R. L. Procesamiento de las semillas. In: **Guía para la manipulación de semillas forestales**. Roma: FAO, 1991.

WILLIAMS, P. et al. **Crop quality evaluation methods and guidelines**. 2.ed. Aleppo: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, 1988. 145 p.

WRIGLEY, Colin et al. The world of food grains. In: **Encyclopedia of food grains**. 2.ed. Reino Unido: Elsevier, 2016. p. 1956.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, n. 6, p. 415–421, 1974.