

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

**Desenvolvimento de populações interespecíficas de trigo para a resistência à
giberela**

Patrícia Frizon

Passo Fundo
2019

Patrícia Frizon

Desenvolvimento de populações interespecíficas de trigo para a resistência à giberela

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Doutor em Agronomia.

Orientador:

Dra. Carolina Cardoso Deuner

Coorientador:

Dra. Sandra Patussi Brammer

Passo Fundo
2019

CIP – Catalogação na Publicação

- F921d Frizon, Patrícia
Desenvolvimento de populações interespecíficas de trigo para a resistência à giberela / Patrícia Frizon. – 2019.
102 f. : il. color. ; 30 cm.
- Orientadora: Profa. Dra. Carolina Cardoso Deuner.
Coorientadora: Profa. Dra. Sandra Patussi Brammer.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2019.
1. Trigo – Doenças. 2. Melhoramento genético.
3. Plantas cultivares. 4. Giberela – Controle. I. Deuner, Carolina Cardoso, orientadora. II. Brammer, Sandra Patussi, coorientadora. III. Título.

CDU: 633.11

ATA DE DEFESA DE TESE



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a tese

"Desenvolvimento de populações interespecíficas de trigo para resistência à giberela"

Elaborada por

Patrícia Frizon

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
"Doutora em Agronomia – Área de Produção e Proteção de Plantas"

Aprovada em: 25/04/2018
Pela Comissão Examinadora

Dra. Carolina Cardoso Deuner
Presidente da Comissão Examinadora
Orientadora

Dra. Sandra Patussi Brammer
Coorientadora

Dra. Nadia Canali Lângaro
UPF

Dr. Pedro Luiz Scheeren
Embrapa Trigo

Dra. Alice Casassola
Ideau

Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi
Coordenador PPGAgro

Dr. Eraldo Lourenso Zanella
Diretor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária,
Universidade de Passo Fundo

DEDICATÓRIA

Dedico a meu pai, em memória, que nos deixou há dois anos e infelizmente não conseguiu estar presente nesse momento tão especial de minha vida, a defesa da tese de doutorado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me abençoado a realizar o sonho de ser doutora.

À toda minha família, a quem amo incondicionalmente, em especial meu pai, Avelino Frizon, em memória, minha mãe, Terezinha Frizon e meu irmão Roque Luiz Frizon, pelo apoio financeiro e afetivo oferecidos durante toda a caminhada acadêmica.

À minha irmã Monica Frizon e cunhado José Paulo de Oliveira, por todo apoio emocional e financeiro e ao meu irmão Ezequiel Frizon por toda ajuda de suporte computacional.

Ao meu noivo, Fábio de Vargas Ilha, pela paciência e amor nesta fase tão difícil.

Ao apoio financeiro concedido pela CAPES, durante o doutorado.

À orientadora Dr.^a Carolina Cardoso Deuner e a pesquisadora e Coorientadora Dr.^a Sandra Patussi Brammer, pela amizade, contribuição, tanto pessoal como profissional, empenho e dedicação a sua profissão sempre com grande entusiasmo.

Aos pesquisadores científicos Dr.^a Maria Imaculada Pontes Moreira Lima, por todo o suporte na parte fitopatológica, paciência e confiança no meu trabalho e Dr. Ricardo Lima de Castro por toda a ajuda na estatística e no melhoramento das espécies em questão.

À pesquisadora Dr.^a Tammy Aparecida Manabe Kiihl, pela ajuda e suporte com o material do Banco Ativo de Germoplasma.

..:

À toda equipe do Laboratório de Biotecnologia da Embrapa Trigo, pela ajuda na parte citológica, molecular e fitopatológica, em especial Andréa Morás e Valdirene Volpato.

A todos funcionários do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Trigo, pelo suporte na fitopatologia.

Ao pessoal da casa de apoio, em especial ao técnico Ervino José Megier, por todos os ensinamentos e ajudas iniciais a campo.

Às estagiárias, Francine Panisson, Camila Vancini, que durante estes dois anos passaram pelo Laboratório de Biotecnologia e tanto contribuíram em épocas em que eu estava com experimentos no campo e disciplinas. Além do apoio técnico, contribuíram com apoio afetivo.

Muito Obrigada!

EPIGRAFE

“Você ganha força, coragem e confiança através de cada experiência em que você realmente para e encara o medo de frente”

Eleanor Roosevelt

RESUMO

FRIZON, Patrícia. Desenvolvimento de populações interespecíficas de trigo para a resistência à giberela. 2019. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

A giberela, é uma das doenças mais destrutivas do trigo, tanto em *Triticum aestivum* L. como em *T. durum* L. O grão infectado é geralmente contaminado com micotoxinas que representam riscos para a saúde humana e animal por serem altamente tóxicas. O desafio no melhoramento genético de plantas, visando resistência à giberela, é combinar essa característica com os aspectos agronômicos e de qualidade superior, como produtividade de grãos e qualidade nutricional. Espécies exóticas, afins ao trigo, são usadas nas hibridações para a resistência ao fungo, sendo que o sucesso depende dos genes que serão introgrididos, seja através de retrocruzamentos ou cruzamentos diretos. Neste estudo, as cultivares comerciais de trigo BRS Guamirim e BRS 179, ambas de alto rendimento de grãos e com resistência moderada à giberela, foram cruzadas com três acessos de trigos sintéticos (CIGM90.909, CIGM92.1666 e CIGM90.93.298), também caracterizados previamente com resistência moderada à giberela, gerando progênes F₂ e seguido de retrocruzamentos e RC₂. As progênes derivadas desses retrocruzamentos foram semeadas em “viveiro de giberela” com quatro repetições, permitindo verificar a severidade real nas espigas, incidência de giberela nos grãos, rendimento e traços agronômicos. Além disso, foi analisado o comportamento meiótico de todas as progênes e a viabilidade polínica, visando estimar a estabilidade genética. Algumas populações segregantes apresentaram menor severidade e percentual de grãos giberelados nas avaliações realizadas a campo, como o cruzamento CIGM90.909/BRS 179. A resistência II, expressa pela disseminação na espiga e III expressa pela incidência no grãos, também foi observada nesse acesso. No entanto, nesta população obteve-se menores rendimento de grãos por planta. Todas as populações oriundas de cruzamentos com o parental BRS 179, tiveram melhores resultados para resistência a doença, além de Índice Meiótico acima de 90%. A viabilidade polínica também se apresentou estável. A população CIGM90.909/BRS Guamirim teve maior número de grãos e menor tamanho de grãos de pólen, enquanto CIGM90.909/BRS 179, que obteve o menor rendimento de grãos por planta teve maiores tamanhos de grãos de pólen. A seleção da população e sua progêne é frequentemente vista como um processo decisivo, pois se o nível médio de resistência é insuficiente, a população é descartada. Esses resultados indicam que pode ser possível identificar e selecionar linhas segregantes que combinam resistência à giberela, desempenho agronômico superior e estabilidade genética.

Palavras-chave: 1. *Fusarium graminearum*. 2. *Gibberella zeae*. 3. *Triticum aestivum*. 4. Trigo sintético. 5. Retrocruzamentos 6. Severidade. 7. Grãos giberelados. 8. Comportamento meiótico.

ABSTRACT

FRIZON, Patrícia. Development of interspecific wheat populations for resistance to Fusarium head blight. 2019. 104 f. Thesis (PhD in Agronomy). University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

Fusarium Head Blight, mainly caused by *Fusarium graminearum* Schwabe [telomorphs: *Gibberella zeae* Schwein. (Petch)] is one of the most destructive diseases of wheat, both in *Triticum aestivum* L. and in *T. durum* L. The infected grain is generally contaminated with mycotoxins that pose risks to human and animal health because it is highly toxic. The challenge in the genetic improvement of plants aiming resistance to giberela is to combine this characteristic with agronomic aspects and of superior quality, such as grain yield and nutritional quality. Exotic species, similar to wheat, are used in hybridizations for fungus resistance. Success depends on the genes that will be introgressed, either through backcrossing or direct intersections. In the present study, commercial wheat cultivars BRS Guamirim and BRS 179, both of high grain yield and moderate resistance to giberela, were crossed with three accessions of synthetic wheats (CIGM90.909, CIGM92.1666 and CIGM90.93.298), previously characterized with moderate resistance to giberela, generating F₂ progenies and followed by backcrosses and RC₂. The progenies derived from these backcrosses were sown in a "giberela nursery" with four replications, allowing to verify the real severity of the spikes, incidence of giberela in the grains, yield and agronomic traits. In addition, the meiotic behavior of all progenies and pollen viability were analyzed in order to estimate the genetic stability. Some segregant populations presented lower severity and percentage of gibberellated disease grains in the field evaluations, such as the CIGM90.909 / BRS 179 cross. The best resistance II and III were also observed in this access. However, in this population it was obtained lower yield of grains per plant. All populations from crosses with the BRS 179 parent showed better results for disease resistance. All populations had a meiotic index above 90%. Pollen viability was also stable. The CIGM90.909 / BRS Guamirim population had higher yield and smaller size of pollen grains, while CIGM90.909 / BRS 179, which obtained the lowest yield of grains per plant had larger pollen sizes. The selection of the population and its progeny is often seen as a decisive process because if the average level of resistance is insufficient, the population is discarded. These results indicate that it may be possible to identify and select segregating lines that combine resistance to giberela, superior agronomic performance and genetic stability

Key words: 1. *Fusarium graminearum*. 2. *Gibberella zeae*. 3. *Triticum aestivum*. 4. Synthetic wheat. 5. Backcrosses. 6. Severity 7. Meiotic behavior.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 15 |
| 2.1 | <i>A Cultura do trigo</i> | 16 |
| 2.2 | <i>Giberela no trigo</i> | 17 |
| 2.3 | <i>Etiologia</i> | 17 |
| 2.4 | <i>Hospedeiros e ciclo de vida</i> | 18 |
| 2.5 | <i>Sintoma e sinal</i> | 19 |
| 2.6 | <i>Controle da doença</i> | 20 |
| 2.6.1 | Resistência genética à giberela | 21 |
| 2.6.2 | Melhoramento genético de plantas | 23 |
| 2.6.3 | Trigos sintéticos | 27 |
| 2.7 | <i>Comportamento meiótico e viabilidade polínica de genótipo de plantas de trigo</i> | 28 |
| 3 | CAPÍTULO I- | 31 |
| 3.1 | <i>Resumo</i> | 31 |
| 3.2 | <i>Introdução</i> | 32 |
| 3.3 | <i>Material e Métodos</i> | 35 |
| 3.3.1 | Experimento 1 | 34 |
| 3.3.1.1 | Parentais Utilizados | 38 |
| 3.3.1.2 | Caracterização do ambiente experimental | 38 |
| 3.3.1.3 | Obtenção dos híbridos F ₁ do trigo | 38 |
| 3.3.1.4 | Obtenção dos retrocruzamentos F ₁ RC ₁ e F ₁ RC ₂ | 40 |
| 3.3.2 | <i>Experimento 2</i> | 41 |
| 3.4 | <i>Resultados</i> | 45 |
| 3.4.1 | Desenvolvimentos de populações segregantes | 45 |
| 3.4.2 | Avaliações agronômicas morfológicas de populações segregantes | 51 |
| 3.5 | <i>Conclusões</i> | 60 |
| 4 | CAPÍTULO III | 61 |
| 4.1 | <i>Resumo</i> | 61 |
| 4.2 | <i>Introdução</i> | 61 |
| 4.3 | <i>Material e Métodos</i> | 65 |
| 4.4 | <i>Resultados e Discussão</i> | 67 |
| 4.4.1 | Índice Meiótico | 67 |
| 4.4.2 | Viabilidade Polínica | 70 |
| 4.4.3 | Tamanho de grão de polén | 75 |
| 4.5 | <i>Conclusão</i> | 76 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 77 |
| 6 | CONCLUSÃO GERAL | 78 |
| | REFERÊNCIAS | 79 |

1 INTRODUÇÃO

O trigo é uma cultura de grande importância no cenário mundial, sendo a segunda mais plantada, ficando atrás apenas da cultura do milho. Compõe um dos cereais mais consumidos no mundo sendo responsável na alimentação humana, animal e na indústria, com diversas opções de subprodutos constituintes no mercado (CARLETTO, 2013). No entanto, as mudanças climáticas representam uma ameaça adicional à produção mundial de trigo, causando uma variedade de restrições abióticas e estas, por sua vez, influenciando epidemias de doenças de plantas (BARZMAN et al., 2015). A giberela *Gibberella zeae* (Schw.) Petch (anamorfo = *Fusarium graminearum* Schwabe) é uma das doenças cerealíferas mais importantes e emergiu como uma grande ameaça para as culturas de trigo e cevada em todo o mundo, contribuindo para a perda de rendimento e qualidade de grãos, devido à colonização por fungos e contaminação com micotoxinas (SIUDA et al., 2010; GRABOWSKI et al., 2012).

Existem mais de 16 espécies de *Fusarium* (O'DONNELL et al., 2004), que infectam uma gama de hospedeiros (VAN DER LEE et al., 2015). *Fusarium graminearum* é o principal patógeno em todo o mundo que causa a giberela (BURT et al., 2015). A infecção é favorecida por condições úmidas e quentes durante a floração e os estágios do desenvolvimento do grão (JUROSZEK; TIEDEMANN, 2015).

As consequências diretas da giberela são perdas de rendimento e redução da qualidade tecnológica dos grãos em *T. aestivum* e *T. durum* (MCMULLEN et al., 2012). Além de reduzir a produtividade do trigo, o fungo produz micotoxinas como a deoxinivalenol (DON), que é prejudicial, tanto para a saúde humana quanto a animal monogástrico. A contaminação de grãos infectados com micotoxina é altamente problemática, tornando grãos impróprios para alimentação (PESTKA, 2010; COVARELLI et al., 2014).

Várias estratégias têm sido usadas para controlar a giberela e reduzir o risco de contaminação por micotoxinas, incluindo rotação de culturas, resistência genética, aplicação de compostos naturais, bem como controle químico e biológico (MESTERHÁZY 2014; TIAN et al., 2016). Contudo, a adoção de cultivares resistentes é a forma mais eficaz, econômica e ambientalmente segura de controlar doenças de plantas (KHALEDI et al., 2015; LENC et al., 2015; GILL et al., 2016). O emprego da resistência genética no controle de doenças como a giberela representa um dos mais significativos avanços tecnológicos da agricultura. O uso de cultivares resistentes é o método de controle preferido principalmente por ser o método de controle de menor agressão ao produtor, meio ambiente e consumidor (MICHEREFF, 2014).

A maioria dos programas de melhoramento de trigo no Brasil tem por objetivos: a tolerância à acidez do solo, à resistência às principais doenças do trigo, o aperfeiçoamento do tipo agrônomico, o potencial produtivo e a qualidade tecnológica. Esses programas de melhoramento buscam a criação de cultivares com bom desempenho agrônomico e industrial (CONAB, 2017). Assim, a melhoria para resistência à giberela é um objetivo importante para inúmeros programas de melhoramento de cereais (OSMAN et al., 2015).

A base genética dos trigos cultivados pode ser restringida na condição dos cultivos modernos e, assim, a capacidade de resistir aos estresses bióticos e abióticos pode ser reduzida. *Aegilops tauschii* Coss. é o doador do genoma D do *T. aestivum* e apresenta genes potencialmente desejáveis, que podem ser usados para ampliar a diversidade genética do trigo. Este genoma faz parte da constituição dos trigos sintéticos, os quais são produzidos artificialmente pelo cruzamento de uma espécie tetraploide, como é o caso de *T. durum* Desf. com uma espécie diploide, *Ae. tauschii* (SHARMA et al., 2014).

O estudo citogenético pode contribuir significativamente nas etapas anteriores aos cruzamentos de linhagens parentais nos programas de melhoramento genético (CARVALHO et al., 2009). A identificação de genótipos mais estáveis, mediante a análise do índice meiótico, permite, portanto, o planejamento de programas de produção

de sementes das cultivares em vias de lançamento, como também, auxilia na eventual utilização destes, para a produção de novas populações (POZZOBON et al. 2011). Análises de estabilidade meiótica associadas à observação da viabilidade polínica permitem indicar o potencial de cruzamento das plantas, auxiliando na seleção de materiais genéticos e fazer inferências sobre a eficiência de cruzamentos (DIEGUES et al. 2015; FRIZON et al., 2017).

Diante disto, o objetivo deste trabalho foi produzir populações segregantes de trigo até a geração F_1RC_2 , por meio de cruzamentos e retrocruzamentos, visando introgridir genes de trigos sintéticos com resistência à giberela em cultivares comerciais de trigo para panificação. Também avaliar a severidade, presença de resistência tipo II que é relacionada a disseminação da doença na espiga e tipo III, relacionada a resistência da doença nos grãos de trigo em populações F_1RC_2 em campo, juntamente com a análise do comportamento meiótico dessas populações, servindo como estimativas da estabilidade genética.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A Cultura do trigo

O trigo (*T. aestivum* L.) é uma planta muito antiga, originada de cruzamentos de gramíneas silvestres que existiam próximas ao rio Tigre e Eufrates há milhares de anos (SILVA et al., 2000). A espécie foi domesticada há cerca de dez mil anos, desde o surgimento da agricultura e pertence à família Poaceae, tribo Triticeae, subtribo Triticinae, gênero *Triticum*. A subtribo compreende 15 espécies, reunidas em três grupos, denominados em função do seu número de cromossomos ($n=7$); a série diploide constituída por 14 cromossomos (genoma AA); tetraploide, por 28 cromossomos (genomas AABB) e hexaploide, por 42 cromossomos (genomas AABBDD) (SLEPER e POEHLMAN, 2006).

O trigo é o segundo cereal mais consumido no Brasil, sendo que a União Europeia é o maior produtor mundial de trigo, com aproximadamente 153 milhões de toneladas. Destina-se, principalmente, à fabricação de pães e massas de diversos tipos. Além disso, o subproduto da moagem constitui-se em importante ingrediente para a alimentação animal (CONAB, 2018). O Brasil é responsável por menos de 1% do trigo produzido no mundo e é o quarto maior importador mundial. Internamente, a produção concentra-se na Região Sul, onde se destacam os estados do Paraná e do Rio Grande do Sul como os maiores produtores, sendo que juntos, somam 87% da produção nacional. Porém, como as demais culturas agrícolas, a produção de trigo é instável. Isso ocorre devido a fatores naturais (climáticos e ambientais), de mercado (oferta e demanda), de comércio exterior (60% do consumo é importado) e econômicos (como juros, taxa de câmbio, falta de liquidez) que exercem grande influência na variabilidade do nível de produção e preços, impondo dificuldades no planejamento da produção e no abastecimento, envolvendo incertezas e riscos (CONAB, 2018).

2.2 Giberela no trigo

A giberela é uma doença de grande importância na cultura do trigo, que ocorre naturalmente em função das condições climáticas e que tem causado queda acentuada na produção, além da contaminação dos grãos com micotoxinas. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), aproximadamente 25% dos alimentos produzidos no mundo estão contaminados com micotoxinas, gerando perdas anuais de um bilhão de dólares. Os principais impactos à saúde humana e animal são danos aos rins e ao fígado, além de doenças crônicas como o câncer. Os impactos econômicos podem resultar em perdas entre 50 a 100% do valor comercial dos grãos, na redução da eficiência produtiva em animais, além de custos com monitoramento e controle para evitar a mistura de lotes contaminados com grãos saudáveis (EMBRAPA, 2016). No trabalho conduzido pela Embrapa Trigo para o monitoramento desses contaminantes em lavouras do sul do Brasil, o Rio Grande do Sul revelou ser o estado em que mais ocorrem problemas com micotoxinas, causadas principalmente pela giberela (EMBRAPA TRIGO, 2016).

Em 2015, por exemplo, a produção de trigo teve uma redução de 21,8%, mostrando, assim, os reflexos dos danos causados pelo clima nas culturas de trigo nas zonas de produção da Região Sul do Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul. Os danos foram maiores em lavouras semeadas nos meses de junho, que acabaram sendo atingidas mais intensamente pelos excessos de chuva na primavera sendo que, em muitos casos, houve tempestades associando chuvas intensas, ventos fortes e quedas de granizo. Avultou, nessa safra, além dos prejuízos físicos à produção, a elevada incidência de doenças de espiga, que se caracterizam como de difícil controle, a exemplo da giberela, causando perdas de produtividade e também em qualidade tecnológica do produto colhido e contaminação com micotoxinas (EMBRAPA TRIGO, 2015).

2.3 Etiologia

No Brasil e no mundo, o principal patógeno associado à giberela do trigo é o fungo *Gibberella zeae* (Schw.) Petch (anamorfo = *Fusarium graminearum* Schwabe), embora outras espécies sejam importantes em algumas regiões, como *F. culmorum* (W.G. Smith) Sacc. e *G. avenacea* Cook [anamorfo = *F. avenaceum* (Corda ex Fries)] (BOTTALICO e PERRONE, 2002). O fungo *G. zeae* pertence à divisão Amastigomycota, classe dos Ascomycetes, subclasse dos Pirenomyces, ordem Hypocreales e família Nectriaceae. Especificamente *F. graminearum* pertence à divisão Amastigomycota, classe dos Deuteromycetes, ordem Moniliales e família Tuberculariaceae (ALEXOPOLUS et al., 1996).

2.4 Hospedeiros e ciclo de vida

Entre as estações de cultivo, *G. zeae* sobrevive como saprófitas tanto em resíduos vegetais de plantas hospedeiras como não hospedeiras, dispostas na superfície do solo. Sobre esses resíduos, o fungo produz esporos assexuais, macroconídios, que são liberados e dispersos pela ação da chuva e do vento, podendo ser elevados para o dossel da cultura. Sob condições de molhamento, peritécios são formados sobre os resíduos, liberando os ascósporos, esporos sexuais do fungo, para o ambiente. Estes ascósporos consistem no inóculo primário da doença. Os respingos de chuvas ou de irrigação e o vento, podem carregar os esporos a longas distâncias. Quando entram em contato com as espigas, em condições de alta umidade e de temperaturas entre 20 °C e 30 °C, os esporos germinam e infectam as espiguetas (WEGULO, 2012).

Restos de milho, trigo e cevada geralmente funcionam como a fonte da contaminação inicial da giberela (WAGACHAET al., 2010; KELLER, 2011). No ciclo assexual, *F. graminearum* produz macroconídios, que são esporos assexuais que são esporos em repouso de paredes espessas. Os clamidósporos permitem que *F. graminearum* sobreviva a condições desfavoráveis e, assim, permite que o fungo hiberne no solo ou nos resíduos da cultura até que a temperatura e a umidade apropriadas facilitem um novo ciclo de infecções. Macroconídeos podem ser transportados do solo para espigas

por respingos de chuva e desempenham um papel predominante na dispersão de patógenos pelo vento (KATANET al., 1997).

O *Fusarium graminearum* pode infectar os tecidos até os estágios tardios do desenvolvimento do grão (Del Ponte et al., 2007). Uma infecção floral manifesta-se inicialmente como lesões aquosas que mais tarde se transformam em uma coloração esbranquiçadas. Manchas alaranjadas produzidas na superfície de espiguetas contaminadas são chamadas de esporodochia e compreendem numerosos macroconídios.

O ciclo sexual de *F. graminearum* começa a partir de peritécios inverniais, pequenos corpos arredondados, pretos e azulados, nos resíduos da lavoura que reportam manter a viabilidade por até 16 meses e que são abundantes na primavera, já que as condições climáticas úmidas são favoráveis à sua maturação (MARKELL e FRANCL, 2003). Os ascósporos (Trailet al., 2002), esporos sexuais dispersos por vento, chuva ou insetos (SUTTON, 1982; PARRY et al., 1995), causam a doença inicial das partes aéreas. Uma estratégia da giberela para o sucesso completo e disseminação nos tecidos do hospedeiro é sobreviver epifiticamente sem causar sintomas (CLEMENT e PARRY, 1998).

2.5 Sintoma e sinal

Após a infecção na planta, o fungo propaga-se através do ráquis, sendo os primeiros sintomas ocorrem entre três a quatro dias. As espiguetas afetadas exibem branqueamento prematuro à medida que o patógeno cresce e se dissemina no interior da espiga. Com o tempo, o branqueamento das espiguetas pode progredir para toda a extensão da espiga (SCHMALE et al., 2010). Além disso, as aristas de espiguetas com o sintoma desviam do seu sentido normal. Em genótipos de trigo com espigas sem aristas, a giberela é caracterizada pela descoloração das espiguetas (LIMA, 2004). Os grãos com sintomas de giberela são chochos, enrugados de coloração branco-rosada a pardo-clara (PARRY et al., 1995; REIS, 2007).

Em condições favoráveis, ou seja, ambiente quente e úmido, estruturas (sinais) do patógeno são facilmente visualizadas a olho nu. Podem surgir agregações de esporos de coloração salmão no ráquis e nas glumas das espiguetas, em decorrência da produção de macroconídios de *F. graminearum*. Outros sinais do patógeno podem ser observados nas espigas secas, sobre a superfície afetada das espiguetas, com formação de pontuações escuras, que são estruturas sexuais do fungo conhecidos como peritécios de *G. zae* (REIS, 1988a; PARRY et al., 1995, LIMA, 2004).

As anteras de espigas de trigo têm sido relatadas como sítio preferencial de infecção pelo patógeno (PARRY et al., 1995; REIS et al., 1996; McMULLEN et al., 1997; BUSHNELL et al., 2003). Contudo, existem algumas evidências de que os estômatos sejam uma das vias de entrada para *Fusarium* spp., em espigas de trigo (BUSHNELL et al., 2003; PRITSCH et al., 2000). Segundo Lima (2003), em inoculações artificiais conduzidas em casa de vegetação, em espigas de trigo e em ambiente favorável, os danos foram similares a partir da emergência completa da espiga, antes da extrusão das anteras, até 15 dias após o início do florescimento.

2.6 Controle da doença

As estratégias de manejo da giberela incluem a adoção de práticas que podem ser enquadradas em controle cultural, químico e genético. Quanto ao controle cultural, o manejo de resíduos e a rotação de culturas têm sido indicados em alguns países para reduzir os níveis de inóculo (ascósporos) do patógeno. Porém, esta estratégia pode não ser efetiva nas condições de cultivo do sul do Brasil, pois há abundância de resíduos na região, em função da manutenção de restos culturais em decomposição na superfície do solo, os quais constituem a fonte de um tipo de inóculo que tem alta capacidade de dispersão na atmosfera. Outra medida que pode contribuir no manejo da doença é o escalonamento da semeadura, uma vez que condições de ambiente favorável à doença podem ocorrer em períodos específicos, quando parte das lavouras não se encontra na fase suscetível, atuando dessa forma, como um mecanismo de escape à doença (LIMA et al., 2002).

A relevância da seleção de genótipos resistentes à giberela no trigo baseia-se na justificativa de que a resistência do hospedeiro é considerada o meio mais adequado de controle da doença (ALBERIONE et al., 2015). Por isso, vários autores têm buscado fontes de resistência em todo o mundo (FRIZON et al. 2016; CLARK et al. 2016; MENDES et al., 2017; CHENG et al., 2018; SZABO-HEVER et al., 2018). No entanto, até o momento, não foram obtidos materiais comerciais que tenham resistência em níveis satisfatórios à doença. Entretanto, mesmo com resistência parcial é importante a adoção destas cultivares, pois, além de contribuir para minimizar a perda de rendimento e o acúmulo de micotoxinas, diminui a dependência de fungicidas.

2.6.1. Resistência genética à giberela

A resistência genética à giberela é conhecida por ser complexa e significativamente afetada pelo ambiente (RUDD et al. 2001). Os mecanismos de resistência ao fungo não foram bem caracterizados, mas, como Bai e Shaner (2004) sugeriram: “a resistência provavelmente envolve uma rede complexa e interativa de vias de sinalização”. A resistência à giberela é considerada predominantemente aditiva (Bai e Shaner, 1994; Buerstmayer et al., 2000; Rudd et al., 2001), embora o efeito de dominância também possa ser significativo (HALL e VAN SANFORD, 2003). Muitos genes parecem estar associados à essa resistência. Em revisão sobre a assunto, Buerstmayer et al. (2009) relataram que locos de caracteres quantitativos (QTL) foram encontrados em todos os cromossomos de trigo. Outro fator que adiciona complexidade da resistência é a interação entre os genes, como por exemplo, em um estudo de Pumphrey et al. (2007), o principal gene de resistência conhecido e estudado mundialmente, o *Fhb1*, foi introgridido em 13 linhas de origens genéticas distintas. Surpreendentemente, em uma dessas linhas, o alelo de resistência mostrou um efeito negativo, sugerindo a presença de uma interação desfavorável entre *Fhb1* e outros genes presentes.

Importantes fontes de resistência foram identificadas em acessos de trigo da Ásia, Brasil, Europa e Estados Unidos. A fonte de resistência mais utilizada é a cultivar chinesa Sumai-3, derivada de um cruzamento entre Funo e Taiwan Xiaomai (RUDD et

al., 2001; MCCARTNEY et al., 2004). Essa cultivar tem sido usada como fonte de resistência em programas de melhoramento de trigo chineses há mais de trinta anos, provando ter uma resistência notavelmente estável (BAI e SHANER, 2004).

Outra linhagem chinesa, Wangshuibai, também é altamente resistente e tem sido utilizada como matriz em muitos programas de melhoramento de trigo. No entanto, é difícil desenvolver cultivares comerciais usando essa fonte de resistência devido à sua associação com características agronômicas indesejáveis (BAI E SHANER, 2004). A cultivar brasileira Frontana também é conhecida por ser uma fonte única de alelos de resistência e tem sido usada como parental doador em vários programas de melhoramento (STEINER et al., 2004; MCCARTNEY et al., 2004). A resistência à giberela também foi relatada em cultivares européias, como Renan e Arina (GERVAIS et al., 2003; PAILLARD et al., 2004). Também nos Estados Unidos, foi encontrada em cultivares como Ernie, Freedom e Truman (BAI e SHANER, 2004).

Para giberela, foram descritos cinco tipos de resistência, conforme classificação proposta por MESTERHÁZI (1995): Tipo I: resistência à infecção inicial; Tipo II: resistência à propagação no interior da espiga; Tipo III: resistência dos grãos à infecção; Tipo IV: redução do acúmulo de micotoxinas e Tipo V: tolerância.

A resistência à colonização inicial (Tipo I) é geralmente avaliada através de classificações de incidência da doença após inoculação nos grãos grãos (HALL, 2002). Resistência tipo II, oriunda da cultivar Sumai-3 é a fonte mais comumente usada de resistência em programas de melhoramento de trigo, além de ser a mais amplamente estudada e caracterizada (RUDD et al., 2001). Este tipo de resistência é geralmente avaliada na estufa por meio da inoculação pontual das espiguetas (isto é, injetando uma suspensão de esporos diretamente na espiguetas usando uma seringa, uma pipeta ou um tufo de algodão) e então medindo a propagação da doença ao longo da espiga (HALL, 2002). Tipo III é medida pela avaliação dos danos aos grãos, considera-se a resistência contra reduções no número de grão ou peso do grão (RUDD et al., 2001), pode ser avaliada usando a porcentagem de grãos afetados.

Cabe ressaltar que ainda não existe uma cultivar de trigo identificada e cultivada comercialmente com resistência total ao patógeno. Isto é em parte porque a resistência à giberela é uma característica quantitativa que é controlada por muitos genes com herança quantitativa levando a ganho genético lento por unidade de tempo durante o melhoramento genético. Alguns dos fatores que influenciam o sucesso a longo prazo das cultivares resistentes à reprodução são: a natureza do patógeno e a diversidade de virulência na população, a disponibilidade e tipo de resistência genética, a metodologia de seleção e os ambientes de seleção disponíveis para rastrear a resistência (DWEBA et al., 2016).

As informações para a resistência do tipo II são mais encontradas e mais exploradas em programas de melhoramento genético. Os programas brasileiros de melhoramento de trigo têm concentrado os estudos nas resistências I, II e III (DALLA NORA et al., 2011). No Brasil, um número de cultivares apresenta resistência moderada, mas os níveis não são suficientes para prevenir epidemias em um ambiente propício à doença (ALVES et al., 2013; SILVA et al., 2010). Por exemplo, as cvs. Frontana e BRS Parrudo têm sido utilizadas como padrões de resistência moderada (CAIERÃO et al., 2014). Apesar de não se ter uma resistência completa, a resistência genética, ainda é a estratégia mais econômica e eficiente para o controle de doenças em plantas. Por isso, o melhoramento genético constantemente emprega diferentes estratégias para encontrar novas fontes de resistência à giberela.

2.6.2 Melhoramento genético de plantas

Considera-se como melhoramento vegetal a atividade que, através do estudo e da manipulação do germoplasma de espécies cultivadas, objetive e efetivamente concretize a introdução de cultivares superiores na agricultura de uma determinada região (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006). Para isso, o melhorista dispõe de técnicas e métodos que possibilitam a obtenção de sucesso nesses objetivos, a começar pela formação da população-base, ou seja, do conjunto inicial de genótipos no qual serão feitas as seleções para formar a base do programa de melhoramento (SCHLEGEL, 2010). A questão

fundamental dessa etapa é que a população-base deve possuir um nível de variabilidade adequado, aliado a médias favoráveis dos caracteres de interesse.

A maioria das espécies cultivadas possui um grande número de materiais geneticamente diferentes disponíveis em seu germoplasma. Assim, uma etapa fundamental para o sucesso do programa de melhoramento é a escolha dos genitores a serem usados nos cruzamentos iniciais que irão originar as populações segregantes, nas quais será feita a seleção (FARIAS, 2013). No caso das espécies autógamas, como o trigo, a questão mais importante no desenvolvimento de uma população-base, proveniente de cruzamentos, é a probabilidade de recuperar progênies homozigotas com uma frequência maior de alelos favoráveis do que qualquer genitor utilizado. Essa probabilidade depende dos seguintes fatores: número de alelos favoráveis distintos entre os genitores usados para gerar a população, contribuição relativa dos alelos desejáveis dos genitores probabilidade de fixação dos alelos em um bloco gênico individual e diferenças genéticas necessárias para o pesquisador poder distinguir a planta superior do restante da população (LORENCETTI et al., 2006). Muitas vezes, as coleções de trabalho dos programas de melhoramento encontram um entrave na obtenção de novos materiais vantajosos, advindos da recombinação de germoplasma elite, enormemente trabalhado ao longo de várias gerações de seleção. Para isso, a introdução de novos materiais pouco melhorados torna-se uma das poucas saídas viáveis, e assim, utiliza-se o método do retrocruzamento visando à transferência do caráter de interesse.

O método do retrocruzamento geralmente é utilizado para melhorar uma característica pontual de um cultivar para a qual é deficiente (FEHR, 1987). Esse método tem recebido grande atenção dos programas de melhoramento visando à incorporação de características introduzidas por técnicas de engenharia genética nas cultivares comerciais de plantas autógamas ou nas linhagens-elite de plantas alógamas (GUIMARÃES et al., 2009). Na prática, o método consiste em cruzar um genitor doador (aquele que possui a característica de interesse a ser incorporada e usado apenas uma vez no processo) com um genitor recorrente (aquele que se deseja melhorar), sendo que, a partir desse cruzamento inicial, as progênies são selecionadas para a característica de interesse e cruzadas repetidamente com o genitor recorrente, visando recuperar ao máximo suas

características (porém, mantendo aquela que foi introduzida). A cada geração de retrocruzamento recupera-se, em média, metade da constituição genética do genitor recorrente em relação à geração anterior, ou seja, se na geração F₁ há 50% do genoma recorrente, na geração RC₁ haverá 75%, na geração RC₂ 87,5% e assim sucessivamente, chegando em RC₆ com 99,2% do genoma recorrente. Portanto, pelo método convencional, são necessários cerca de seis ciclos de retrocruzamentos para uma recuperação satisfatória do genoma recorrente (GUIMARÃES et al., 2009).

Dessa forma, o método do retrocruzamento vem sendo utilizado para a transferência principalmente de caracteres qualitativos (herança simples, mono ou oligogênica) de um genitor qualquer para um genitor adaptado (um cultivar comercial, por exemplo), deficiente na característica em questão. Assim, é considerado um método de substituição alélica. Durante os sucessivos retrocruzamentos faz-se seleção para o alelo a ser transferido, enquanto as demais características do genitor recorrente (sobretudo os caracteres quantitativos) vão sendo recuperadas gradativamente, obtendo-se, no final, o genitor adaptado acrescido de um ou poucos alelos do genitor doador (FARIAS, 2013).

O melhoramento para resistência a doenças visa o controle através do uso de variedades resistentes, sendo mais barato e de fácil utilização. Outras vantagens são: a menor agressão ao meio ambiente (comparado com o uso de agrotóxicos) e o consumo de produtos sem agrotóxicos. Conforme Comeau et al. (2012) o melhoramento genético, quando empregado pelo método sistêmico, permite analisar um germoplasma por uma gama completa de características, ao contrário de uma única abordagem (como somente para *Fusarium*), sendo essencial para a compreensão do sistema genético completo da planta, além de considerar suas interações com um ambiente variável.

Embora o melhoramento de plantas tente explorar a variabilidade genética existente dentro de cada espécie, o cultivo em lavouras comerciais trouxe a chamada “erosão da variabilidade genética”, que se torna mais crítica no sul do Brasil, tendo em vista a rapidez de aparecimento dos patógenos e seus mutantes. Os recursos genéticos têm desempenhado um papel significativo no melhoramento genético, uma vez que proporcionam aos produtores a variabilidade que eles necessitam, dedicando esforços

no aumento do rendimento por incorporação de novos genes ou combinações de genes de resistência e tolerância a estresses bióticos e abióticos (SKOVMAND et al., 2002). Estes recursos genéticos possuem valor real ou potencial, sendo considerados a base para o desenvolvimento de variedades e cultivares, sempre tentando valorizar a diversidade genética presente, visando ao desenvolvimento sustentável da agricultura e da agroindústria (BARBIERI, 2003; BONOW, 2007).

Nesse contexto, as espécies silvestres, afins às plantas cultivadas, são germoplasma valiosos para a obtenção de novos genes agronomicamente úteis. A articulação entre o Banco de Germoplasma e o melhoramento genético, resulta na criação de fontes de resistência, principalmente advindas da introgressão de genes de espécies afins e de retrocruzamentos entre o trigo cultivado e os trigos sintéticos. As fontes de resistência são identificadas, nas espécies cultivadas e nas espécies afins, a partir de observações em campo das reações de suscetibilidade e/ou resistência, bem como através de inoculações artificiais. As informações fitopatológicas permitem a escolha de genótipos parentais, a serem usados no estudo da herança genética das resistências dos hospedeiros. Para este fim, destacam-se os gêneros próximos como *Secale*, *Aegilops* e *Agropyron*, pois possuem resistência a diversos estresses bióticos e abióticos e outros atributos agronomicamente significantes, muitas vezes superiores aqueles encontrados no trigo cultivado (STALKER, 1980). Portanto, a hibridação interespecífica é importante na utilização do reservatório de genes de algumas espécies silvestres que possuem resistência a fatores bióticos e abióticos, transferindo-se esta resistência para outras espécies cultivadas suscetíveis. Esta técnica permite, também, diversificar genes para uma característica, aumentando a variabilidade da cultura (BRAMMER et al., 2000).

Além das espécies de trigos cultivados, o trigo pão, *T. aestivum* L. ($2n = 6x = 42$) como o trigo duro, *T. durum* Desf. ($2n = 4x = 28$), existem expressivos recursos genéticos naturais em Triticeae, aliados a contribuição importante de estudos citogenéticos que facilitaram enormemente o conhecimento dessas espécies e de outros genomas de Triticeae, permitindo direcionar a introgressão do (s) gene (s) exótico (s) via estratégias genéticas (MOLNÁR-LÁNG et al., 2015). O potencial prático da

hibridação ampla em Triticeae é provavelmente muito maior do que em outros grupos, em função da facilidade de cruzamento, aliada ao amplo conhecimento dos genomas, mas também como consequência da importância desta cultura para o mundo (MUJJEBAKAZI e KIMBER, 1985).

Evidentemente, se a resistência que se deseja transferir estiver presente em espécies ancestrais, cujos genomas são homólogos aos do trigo, o trabalho de transferência fica facilitado, pois a recombinação pode ocorrer através do sobrecruzamento. Estratégias diferentes podem ser usadas se a resistência for localizada em espécies com os genomas A, B ou D, ou seja retrocruzamentos e seleção citológica-molecular. Entretanto, somente com o progresso do conhecimento científico sobre as relações citotaxonômicas dentro do gênero *Triticum* e da tribo Triticinae é que foi possível o desenvolvimento de metodologias eficientes de transferência, as quais permitiram a obtenção de fontes de resistências novas e geneticamente distintas. Além disso, a transferência de genes das espécies afins ao trigo cultivado depende de quanto e de como são introgridos tais genes (MORAES-FERNANDES et al., 2000).

De fato, devido à relativa afinidade entre os genomas das Triticeae, principalmente o genoma D de *T. aestivum* (LIU et al., 2007), tem funcionado como fontes altamente valiosas de uma infinidade de genes associados a características quantitativas (QTL) para melhorar a resistência a estresses bióticos e abióticos, bem como qualidade tecnológica e características relacionadas ao rendimento (CEOLONI et al., 2015).

2.7 Trigos sintéticos

Os trigos sintéticos são o resultado do cruzamento entre uma espécie tetraploide (genomas AABB) e outra diploide (genoma DD), originando um híbrido estéril ABD. Para restaurar a fertilidade, é feito, primeiramente, o resgate do embrião imaturo, aos 14 dias após as hibridações, onde é cultivado *in vitro*, seguido da ressíntese artificial dos genomas, duplicando os cromossomos das plântulas regeneradas com colchicina ou outro agente anti-mitótico (MORAES-FERNANDES et al., 2000).

O uso de trigos sintéticos visa à transferência de genes agronomicamente importantes para o trigo cultivado a partir de retrocruzamentos. Porém, para que este germoplasma seja disponibilizado, é imprescindível haver a caracterização quanto à estabilidade genética por meio de diferentes estratégias metodológicas. Coleções de trigos sintéticos foram desenvolvidas pelo International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), principalmente usando trigo de inverno e acessos de *Ae. tauschii* (sinônimos *Ae. squarrosa*; *T. tauschii*) para facilitar a incorporação de características desejáveis em diversos programas de melhoramento de trigo do mundo (HE et al., 2013; HANIF et al., 2014; ZHU et al., 2016). A diversidade genética dentro do trigo sintético hexaploide traz alelos e genes de resistência/tolerância a estresses bióticos e abióticos (RASHEED et al., 2012). No entanto, geralmente possuem baixo valor agrônomico, difícil de trilhar e baixo rendimento, o que justifica a introgressão de tais genes em cultivares já adaptadas às regiões de cultivo, sendo crucial para os programas de melhoramento genético.

Desde a década de 1940, mais de 1.500 linhas de sintéticos foram desenvolvidas e um grande número foram identificadas como resistentes às principais doenças do trigo (ferrugem da folha, septoria, podridão da coroa, manchas foliares, nematóides, oídio, fusariose, entre outras), insetos e tolerância a estresses abióticos (seca, calor, salinidade e encharcamento), bem como novas características de rendimento e qualidade de grãos (OGBONNAYA et al., 2013; JAFARZADEH et al., 2016). Destacam-se que alguns dos germoplasmas derivados dos trigos sintéticos têm sido utilizados com sucesso para desenvolver variedades comerciais de trigo, como a variedade altamente produtora 'Chuanmai 42' (YANG et al., 2009) e variedades resistentes a insetos 'TAM 110' (LAZAR et al., 2004) e 'TAM 112' (RUDD et al., 2014).

2.7.1 Comportamento meiótico e viabilidade polínica de genótipos de plantas de trigo

Plantas em estado silvestre, ou em fase de pré-melhoramento, possuem comportamento meiótico variável entre os genótipos. Assim, podem apresentar irregularidades nas fases da meiose e pós-meiose, resultando em fertilidade limitada quando se considera gametas masculinos (DAMASCENO JUNIOR et al., 2010). Estas irregularidades são comumente relatadas na família Poaceae. Dentre as mais comuns,

verifica-se a migração precoce dos cromossomos para os polos e cromossomos retardatários em metáfases e micronúcleos em tétrades (MENDES-BONATA et al., 2006).

Devido ao genoma de trigo sintético ter uma combinação de *T. durum* × *Ae. tauschii* ou mesmo em outras combinações gênicas advindas de introgressões entre espécies relacionadas, faz com que a duração do ciclo meiótico varie nos diferentes genomas, ocasionando, em muitos casos, instabilidades meióticas. Portanto, o grau de fertilidade das plantas é demonstrado pelo comportamento meiótico, sendo a formação de gametas funcionais controlada por genes que garantem um processo meiótico normal. Entretanto, os genes podem sofrer mutações, ocasionando irregularidades que comprometem a fertilidade dos indivíduos (PAGLIARINI, 2000). Além das causas genéticas apresentadas, fatores bióticos e abióticos, também podem levar à fragmentação do material genético gerando células com micronúcleos e instabilidades genéticas nos híbridos gerados (MAJER et al., 2001).

Portanto, a análise do comportamento meiótico é muito utilizada para estudos evolutivos, bem como na seleção de genótipos a serem utilizados em programas de melhoramento genético, já que permite caracterizar as plantas quanto à sua estabilidade genética e fertilidade. Isto reflete na possibilidade de uma seleção mais apurada dos genótipos analisados (BRAMMER et al., 2007). Cabe ressaltar que quando se objetiva o uso de híbridos interespecíficos ou intergenérico em programas de pré-melhoramento genético, é importante avaliar o comportamento cromossômico dos híbridos, bem como inferir sobre a estabilidade genética, que pode ser acessada a partir de análise do índice meiótico e da viabilidade polínica.

Estudos recentes foram realizados, analisando-se as instabilidades meióticas em algumas espécies de trigo: Arabbeigi et al. (2010) investigaram o comportamento meiótico em cultivares de trigo e em trigos sintéticos; Omid et al. (2014) estudaram a influência dos estresses ambientais, nas anormalidades meióticas em trigo; Ghorbani et al. (2015) compararam instabilidades meióticas de *Ae. cylindrica* com as estabilidades

mitóticas de *T. monococcum* e Frizon et al. (2017) analisaram o índice meiótico e presença de micronúcleos em 20 acessos de trigos sintéticos.

Além do mencionado, ressalta-se que a germinação e viabilidade do grão de pólen de plantas têm recebido considerável atenção devido à sua aplicação no melhoramento de plantas, na conservação e no entendimento da resposta fisiológica durante a fertilização (KHAN e PERVEEN, 2006). Isso porque os programas de melhoramento genético vegetal estão fundamentados na obtenção de cultivares superiores, a partir da manipulação genética existente no germoplasma de determinada espécie. Dentre os fatores responsáveis pelo sucesso desses programas, destacam-se a seleção de genótipos e os cruzamentos cuja eficácia depende, diretamente, da viabilidade do pólen (TECHIO et al., 2006). A capacidade de germinação do pólen pode interferir na taxa de frutificação (MONDAL e GHANTA, 2012), visto que qualquer falha do grão de pólen para germinar e, posteriormente, para fertilizar um óvulo significa um resultado mal sucedido de um evento de polinização (DAFNI, 1992). Assim, a viabilidade polínica é, geralmente, considerada como indicativo da capacidade do grão de pólen realizar sua função de liberar as células espermáticas no saco embrionário, permitindo que ocorra a fertilização (SHIVANNA et al., 1991). Considerando-se a função do grão de pólen no ciclo de vida de uma planta, uma maneira de testar a viabilidade polínica seria realizar a polinização e, posteriormente, analisar a frutificação. No entanto, devido ao tempo que essa atividade leva, outros métodos são, frequentemente, utilizados (KARAKAYA, 2011). Existe uma grande variedade de técnicas que podem ser usadas para a avaliação da viabilidade do grão de pólen (OLIVEIRA et al., 2001). Os métodos diretos incluem a indução da germinação do pólen *in vivo* ou *in vitro*, e os indiretos são baseados em parâmetros citológicos, como a reação a corantes e fluorocromos (DAFNI, 1992; SHIVANNA e RANGASWAMY, 1992; KEARS e INOUYE, 1993). Os métodos colorimétricos utilizam corantes químicos específicos, que reagem com componentes celulares presentes no grão de pólen maduro. Dentre esses testes, destacam-se os testes com lugol, carmim acético e a solução tripla de Alexander (PAGLIARINI e POZZOBON, 2004).

Diante disso, vê-se que a falta de cultivares disponíveis no mercado, que reúnam características agrônômicas superiores, com resistência genética à giberela, ainda é um

dos maiores problemas enfrentados pelos produtores de trigo. Para melhorar esta condição, é necessário um substancial impacto nos programas de melhoramento genético de trigo. Para que este objetivo seja alcançado, é importante a utilização de estratégias de avaliação capazes de garantir a identificação de genótipos para a doença, aliado com as características quantitativas, desejáveis como o rendimento alto.

3 CAPÍTULO I-

Desenvolvimento de populações segregantes interespecíficas de trigo, avaliação de características agronômicas e resistência à giberela

3.1 Resumo

O trigo está entre os cereais mais produzidos no mundo devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, além do valor nutritivo do grão. Aumentar a qualidade e a produtividade do trigo no Brasil tem sido um desafio para todos os segmentos envolvidos no processo produtivo. A giberela, causada por *Fusarium graminearum*, é uma das doenças cerealíferas que mais influenciam não só na redução da produtividade como na qualidade do trigo, pela presença de micotoxinas. O controle da giberela pode ser realizado por meio do controle cultural como rotação de culturas, químico utilizando fungicidas e genético por meio de cultivares resistentes. A resistência genética, no entanto, é atualmente reconhecida como o método mais eficaz e ambientalmente correto para manejar giberela. No entanto, a falta de recursos genéticos com resistência adequadas ainda é um dos principais gargalos para a pesquisa de melhoramento de trigo. Trigos sintéticos resultam do cruzamento entre uma espécie tetraploide (genoma AABB) e outra diploide (DD), originando um híbrido estéril ABD. Para restaurar a fertilidade é feita a síntese artificial duplicando os cromossomos com o uso de colchicina, obtendo-se um novo hexaploide. Estes trigos são genomicamente anfidiplóides e devido à combinação dos genomas dos pais apresentam resistência, principalmente, a fungos e insetos. Desta forma, os programas de melhoramento de trigo concentram-se, juntamente com o alto rendimento, no desenvolvimento de resistência a giberela em cultivares comerciais. A seleção de genitores e de populações segregantes constitui a primeira etapa no processo de melhoramento para posteriormente serem obtidas as populações segregantes por meio dos cruzamentos e retrocruzamentos. O objetivo desse trabalho foi desenvolver populações segregantes de trigo para resistência à giberela, introgrido genes de trigos sintéticos em cultivares tradicionais, apresentando os resultados e avanços obtidos pelo método de retrocruzamentos e avaliar essas populações em F₁RC₂, quanto aos aspectos agronômicos e resistência tipo II e tipo III à giberela. Primeiramente, o experimento foi conduzido no ano de 2016 e 2017 na casa de vegetação da Embrapa Trigo. Como genitores masculinos foram utilizados duas cultivares comerciais BRS Guamirim e BRS 179 e três genitores femininos, trigos sintéticos (CIGM90.909, CIGM92.1666 e CIGM93.298), previamente caracterizados quanto à reação a giberela. O procedimento metodológico cruzamentos e retrocruzamentos foi realizado, proporcionando condições controladas adequadas. Foram desenvolvidas as populações F₁ (inverno de 2016), RC₁ (verão de 2016/2017) e RC₂ (inverno de 2017) através dos processos de emasculação e polinização. Já no inverno de 2018, as populações segregantes foram avaliadas no campo. O delineamento foi em blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições, sendo a parcela constituída de uma linha de 5 m com 50 sementes espaçadas a cada 10 cm. No espigamento, grãos com peritécios de *Gibberella zeae* foram distribuídos na superfície do solo. Após, a área experimental foi submetida ao molhamento de espigas com formação de neblina, em dias sem precipitação pluvial. No estágio 11.2 (grão em massa mole) foram quantificadas por espiga, sem destacar da planta, o número de espiguetas com sintomas de giberela, para a determinação da severidade real. Na época da maturação, foram colhidas, manualmente, todas as linhas de cada parcela, onde foram avaliadas as seguintes características: altura das plantas, número de grãos por espiga, número de grãos sadios e grãos

giberelados (resistência tipo III), rendimento de grãos por planta. Os dados morfológicos de forma e densidade da espiga foram obtidos de acordo com os descritores morfológicos propostos pelo MAPA (1998). Nas três gerações desenvolvidas em casa de vegetação (F₁, RC₁ e RC₂), pode-se concluir que as melhores combinações de cruzamentos, verificadas pelo número de grãos, foi com o parental maculino BRS 179, sendo que em duas gerações consecutivas RC₁ e RC₂, o melhor rendimento foi verificado em CIGM90.909/BRS179. As combinações realizadas com BRS Guamirim geralmente tiveram menores números de grãos. Nas avaliações realizadas a campo das populações segregantes avaliadas a que mais apresentou espiguetas afetadas foi o CIGM93.298/BRS Guamirim (76,72%). As outras populações segregantes e parentais masculinos tiveram porcentagem de espiguetas afetadas menor que 50%. Isso faz com que todas as populações sejam consideradas moderadamente suscetíveis e muito suscetível, para resistência tipo II. Na porcentagem de grãos giberelados, resistência tipo III, todas as populações segregantes com exceção de CIGM90.909/BRS 179 e BRS 179 apresentaram valores acima de 50%. Evidenciou-se assim que os cruzamentos realizados com o parental masculino BRS 179 tiveram melhores resultados para a resistência a doença, contrapondo-se com BRS Guamirim, uma vez que as populações foram mais suscetíveis. Nos caracteres agrônômicos avaliados, a população CIGM93.298/BRS Guamirim teve maior rendimento de grãos por planta, enquanto teve menor rendimento CIGM90.909/BRS 179. Nos aspectos morfológicos, todos os cruzamentos realizados com o parental masculino BRS 179 tiveram estatura mais alta quando comparados com BRS Guamirim. Já as populações segregantes oriundas do cruzamento com BRS Guamirim apresentaram-se mais densas.

Palavras-chave: 1. *Fusarium graminearum*. 2. Populações segregantes. 3. Severidade. 4. Grãos giberelados.

3.2 Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é a terceira cultura alimentar mais importante do mundo, alimentando 4,5 bilhões de pessoas em 95 países em desenvolvimento (BRAUN et al., 2010). Embora a melhoria do rendimento de trigo seja determinada pelo potencial genético, o controle adequado dos estresses bióticos e abióticos, juntamente com boas práticas de manejo, determinam o rendimento real obtido anualmente. Os estresses bióticos representam desafios significativos para o aumento da produtividade e têm implicações importantes para a segurança alimentar em muitas regiões onde o trigo é o alimento principal, particularmente nos países em desenvolvimento, em que os custos dos insumos são altos (JIGHLY et al., 2016).

A giberela (*Gibberella zeae* Schw) é uma das principais doenças fúngicas que afeta a produção de trigo. Apesar de, mundialmente, ter mais de 17 espécies de *Fusarium* causadores da doença, *F. graminearum* é o agente predominante em muitos países. A

incidência e a gravidade da doença têm aumentado nas últimas décadas, devido ao aumento das rotações de milho e trigo e a prática cada vez mais popular do plantio direto, permitindo que os resíduos da colheita na superfície do solo sejam colonizados pelo fungo (ZHU et al., 2015). Doença típica de climas mais quentes e úmidos (Brennan et al., 2005), a giberela reduz rendimento de trigo e afeta negativamente a moagem, cozimento e fabricação de massas (BAI e SHANER, 1994). Além disso, os grãos infectados podem conter micotoxinas, como o deoxinivalenol (DON), que produzem grãos impróprios para consumo humano ou animal (MCMULLEN et al., 1997). A resistência genética é considerada o meio mais econômico e ambientalmente correto de controlar o fungo e é um dos objetivos principais para inúmeros programas de melhoramento de cereais (OSMAN et al., 2015). No entanto, a doença é altamente complexa por ser do tipo quantitativa e controlada por muitos genes de efeito menor. Mesterhazy (1995) descreveu cinco tipos de resistência, das quais Tipo I (resistência à infecção inicial); Tipo II (resistência à disseminação na espiga); Tipo III (resistência nos grãos); Tipo IV (resistência ao acúmulo de micotoxinas) e Tipo V (resistência expressa pelo rendimento). A Resistência I, II e III são as mais estudadas quando comparadas a IV e V.

No entanto, sabe-se que as cultivares comerciais não são boas fontes de resistência. Assim, os programas de melhoramento buscam em espécies silvestres afins ao trigo, fontes alternativas de resistência à giberela. Trigo sintético hexaploide foi relatado por ser um repositório de ampla diversidade genética para o melhoramento do trigo (OGBONNAYA 2011; OGBONNAYA et al., 2013). Esse material é resultado da hibridização de duas espécies, o tetraploide *T. turgidum* (genomas AABB), e o diploide selvagem *Aegilops tauschii* (denoma DD), originando um híbrido esteril. Sua fertilidade é restaurada em laboratório com uso de colchicina na duplicação dos cromossomos (VAN GINKEL E OGBONNAYA, 2007). A diversidade genética para resistência foi identificada em trigos sintéticos para uma ampla gama de estresses bióticos, incluindo a giberela (MUJEEB-KAZI et al., 2001b). Os trigos sintéticos foram descritos pela primeira vez por McFadden e Sears (1946). Desde então, muitos programas de melhoramento têm empregado esta técnica. O CIMMYT (Centro Internacional de Melhoramento de Milho e

Trigo – México) desenvolveu mais de 1.000 novos sintéticos primários de mais de 600 diferentes acessos de *Ae. tauschii* (ZHANG et al., 2005).

A seleção de genitores e de populações segregantes constitui a primeira etapa no processo de melhoramento. Dessa, depende o sucesso das demais etapas e, conseqüentemente, a eficiência do programa, sendo uma das decisões de maior importância a ser tomada pelo melhorista (BERTAN et al., 2007; PEREIRA et al., 2007). Como um desafio da pesquisa, o método de retrocruzamento tem sido utilizado no programa de melhoramento genético visando à incorporação de genes de resistência de espécies silvestres em variedades com características comerciais (FALEIRO et al., 2005). Esse método consiste em uma importante estratégia para os melhoristas de trigo quando o objetivo é realizar a introgressão de caracteres quantitativos em um genótipo elite ou padrão. Por meio deste método, um genótipo considerado como doador é cruzado com outro denominado recorrente. As plantas da geração F₁ são retrocruzadas e na geração seguinte as que apresentarem a característica desejada oriunda do genitor doador são normalmente retrocruzadas e assim sucessivamente com o genótipo recorrente para que se tenha a recuperação da constituição genética do mesmo. Geralmente são necessárias de cinco a seis gerações para que tenha a recuperação total do genitor recorrente (SCHEEREN et al., 2011). Dentro desse contexto, o trigo sintético hexaploide, é considerado uma fonte promissora de alelos exóticos para introgressão em trigo (MUJEEB-KAZI et al., 2008). No entanto, eles frequentemente abrigam alelos desfavoráveis como baixo desempenho agrônômico e baixo rendimento. Geralmente, sintéticos primários precisam ser cruzados com um cultivar elite (ARRAIANO et al., 2001; MUJEEB-KAZI et al., 2004). Uma vez retrocruzado e intensivamente selecionado, o novo material vegetal pode começar a ser incorporado no programa de melhoramento de trigo para desenvolvimento de cultivares. Este processo é muito demorado, limitando o uso de germoplasmas exóticos nos programas de melhoramento de trigo (DUNCKEL et al., 2017).

Devido à elevada relevância da giberela sobre os danos à produtividade e a qualidade do trigo, o presente trabalho teve como objetivos: introgridir genes de trigo sintético em cultivares tradicionais de trigo visando à resistência à giberela, para serem

usados no programa de retrocruzamento e avaliar as populações segregantes de trigo em F_1RC_2 , oriundas do cruzamento entre trigos sintéticos e cultivares comerciais, quanto aos aspectos agronômicos e de resistência tipo II e tipo III à giberela avaliar as populações segregantes de trigo em F_1RC_2 , quanto aos aspectos agronômicos e de resistência tipo II e tipo III à giberela.

3.3 Material e métodos

3.3.1 Experimento 1

3.3.1.1 Parentais utilizados

O material utilizado compreende duas cultivares comerciais de trigo, como genitores paternos, adaptados às condições do Rio Grande do Sul e escolhidos com base na divergência para vários caracteres: produção de grãos, dias para maturação e altura da planta, sendo eles BRS Guamirim e BRS 179. A descrição das cultivares está apresentada a seguir:

- BRS Guamirim: Cultivar lançada em 2005, possui estatura baixa de até 78 cm, produtividade média de 7.600kg/ha, ciclo superprecoce, sendo de 75 dias até o espigamento e 125 dias até a maturação. É moderadamente resistente à giberela, mancha da gluma e manchas foliares. Moderadamente resistente/moderadamente suscetível à ferrugem da folha e ao vírus do nanismo amarelo da cevada (VNAC). Moderadamente suscetível/suscetível ao oídio e suscetível ao vírus do mosaico. Possui bom perfilhamento; moderadamente resistente/resistente ao acamamento; moderadamente resistente ao crestamento; moderadamente resistente/moderadamente suscetível à debulha natural, moderadamente suscetível/suscetível à germinação na espiga e moderadamente suscetível à geada na fase vegetativa. Está classificada como trigo doméstico na região 1 e trigo pão na região 2 de cultivo do trigo no Brasil. É indicada para os estados: Rio Grande do Sul e Santa Catarina (região 1 e 2), Paraná

(região 1, 2 e 3), São Paulo (região 2, 3 e 4) e Mato Grosso do Sul (região 3 e 4) (EMBRAPA TRIGO).

- BRS 179: Foi lançada para cultivo em 1999 e é recomendada para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. É classificada como de ciclo médio (89 dias ao espigamento e 143 dias à maturação) e como de porte alta (100 cm). O potencial produtivo da cultivar é superior a 3 toneladas/ha e é classificada como trigo da classe Brando. É moderadamente resistente ao crestamento, à germinação da espiga e moderadamente suscetível ao acamamento e à debulha natural. Suscetível à ferrugem-da-folha e moderadamente suscetível ao oídio e ao vírus-do-mosaico. Apresenta moderada resistência à giberela e às manchas foliares e sua abrangência de mercado para uso: É indicada para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (EMBRAPA TRIGO).

Como genitores maternos e fontes de resistências exóticas foram utilizados três acessos de trigos sintéticos hexaploides, oriundos do CYMMIT (Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo – México) e caracterizados previamente por Frizon et al. (2016), como moderadamente resistentes à giberela (Tabela 1).

Tabela 1- Genótipos utilizados nos cruzamentos visando resistência à giberela. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Acessos | Genealogia | Resistência |
|----------------|--|--------------------|
| CIGM90.909 | GAN/ Ae. Squarrosa | MR |
| CIGM92.1666 | RASCON// Ae. Squarrosa | MR |
| CIGM93.298 | CIGM93.298 | MR |
| BRS Guamirim | Embrapa 27/Buck Nandu//PF93159 | MR |
| BRS 179 | BR 35/PF 8596/3/PF 772003*2/PF 813//PF 83899 | MR |

3.3.1.2 Caracterização do ambiente experimental

O experimento foi conduzido no ano de 2016 e 2017 na casa de vegetação da Embrapa Trigo, no município de Passo Fundo, RS, localizado a 687 m de altitude, latitude 28°15' S, longitude 52°24' W.

3.3.1.3 Obtenção dos híbridos F₁ de trigo

O procedimento metodológico foi realizado em casa de vegetação, proporcionando condições controladas adequadas. A semeadura dos parentais foi feita em três épocas distintas, a partir do dia 26 de junho de 2016, com diferença de uma semana, uma da outra, para coincidência do florescimento, viabilizando a realização dos cruzamentos propostos e também como precaução contra alguma alteração que pudesse prejudicar a execução dos trabalhos. Em cada época, foram usados doze baldes para cada parental, totalizando 144, sendo semeadas cinco sementes/balde, com dimensões de aproximadamente 0,20 m de altura e 0,20 m de diâmetro. Os baldes foram dispostos em linhas espaçadas uma da outra de 0,40 m e preenchidos com solo devidamente corrigido quanto ao pH e adubado adequada. Para a realização dos cruzamentos foram efetuadas as seguintes operações:

a) Emasculação - Consistiu na retirada das anteras das flores, mantendo-se apenas a parte feminina (gineceu). A realização dessa etapa foi na fase final de emborrachamento, isto é, no estágio 10.1 da escala de Feeks-Large (LARGE, 1954). Foram eliminadas as espiguetas apicais e basais de cada espiga, deixando-se de 8 a 10 espiguetas centrais. Essas foram cortadas na parte média, transversalmente, em relação ao comprimento da raque. Desse modo, cada espigueta continha duas a três flores. Nessa fase, as anteras, em número de três por flor, se encontravam ainda imaturas (cor verde) e com tamanho adequado para facilitar a remoção. Nesse processo, procurou-se não danificar a parte feminina. Assim, as anteras, de todas as flores de cada espiga, foram cuidadosamente retiradas com auxílio de uma pinça, evitando o risco de ocorrência de autofecundação. A seguir, cada espiga foi ensacada, marcando-se a data da emasculação (Figura 1)

Figura 1- Processos envolvidos na emasculação dos parentais femininos no desenvolvimento das populações segregantes A: Escolha da espiga no ponto de emasculação. B: Retirada da flor central. C: Retirada das anteras de cada flor. D: Ensacamento das espigas até o ponto de polinização. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



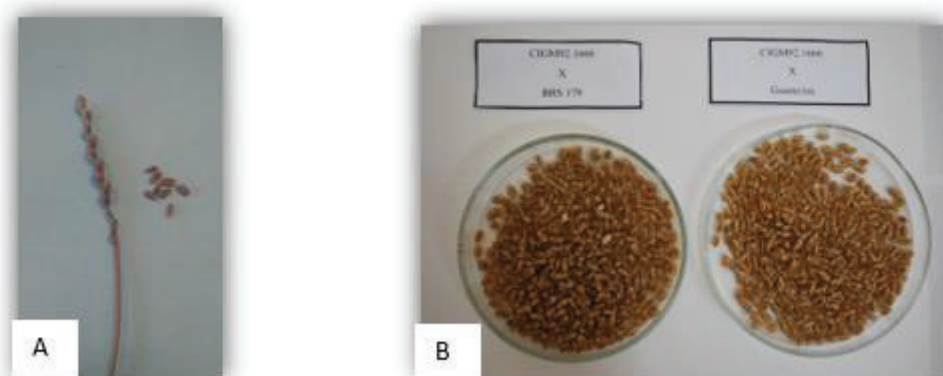
b) Polinização - Decorridos três a cinco dias da emasculação, foi realizada a polinização. Foram escolhidas e retiradas as espigas com anteras maduras, isto é, no estágio 10.5.1-10.5.2 da escala de Feeks-Large (LARGE, 1954), das plantas dos genótipos polinizadores. Essas espigas tiveram suas espiguetas cortadas na parte média, transversalmente ao comprimento da raque e, a seguir, expostas ao sol para facilitar a saída das anteras. Esse processo foi realizado em dia ensolarado e no período mais quente, entre 10 e 14 horas. Quando as anteras estavam liberadas, as espigas foram levadas, cuidadosamente, para a espiga da planta, anteriormente emasculada, visando à operação de polinização. O saquinho que envolvia a espiga emasculada foi cortado na parte superior e, em seguida, a espiga com as anteras maduras foi introduzida, agitando-se de maneira que os grãos de pólen fossem liberados, polinizando-se os estigmas. A seguir, os saquinhos de papel foram fechados e grampeados, colocando-se uma etiqueta indicando o cruzamento efetuado e sua data. Nesse procedimento foram utilizadas várias espigas, de modo a obter as sementes necessárias para o trabalho (Figura 2).

Figura 2- Processos envolvidos na polinização dos parentais femininos com uso dos parentais masculinos no desenvolvimento das populações segregantes de trigo. A: Espiga no ponto de polinização. B: Polinização da espiga emasculada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



c) Colheita das sementes híbridas em geração F_1 (Figura 3) - Na época da maturação, as espigas, que estavam ensacadas e devidamente identificadas, provenientes dos três cruzamentos, foram colhidas e secas em condições ambientais, sendo a seguir debulhadas manualmente. Os grãos foram armazenados em condições ambientais adequadas para a continuação do programa de melhoramento.

Figura 3- Colheita das populações segregantes emasculadas e polinizadas. A: Espiga emasculada e polinizada no ponto de colheita. B: Grãos oriundos da população F₁. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



3.3.1.4 Obtenção dos retrocruzamentos F₁RC₁ e F₁RC₂

As sementes dos parentais de trigo e parte das sementes dos híbridos em geração F₁ de trigo foram semeadas, em dezembro de 2016 em baldes plásticos na mesma casa de vegetação. Os pais foram semeados em três épocas, separadas uma da outra em dez dias, e os híbridos em geração F₁, também foram plantados em três épocas visando à obtenção dos retrocruzamentos RC₁. Tal procedimento foi realizado pelas mesmas razões citadas anteriormente. Em cada uma das épocas, foram semeados os três parentais em doze vasos cada um, totalizando 36 baldes, por época. Em cada balde, foram utilizadas cinco sementes. Com relação às sementes dos híbridos em geração F₁, foram semeados doze baldes por híbrido, com cinco sementes cada um, totalizando 36 baldes. O preparo dos baldes e a realização dos cruzamentos foram semelhantes aos descritos anteriormente. Desse modo, foram obtidas as sementes dos retrocruzamentos RC₁ no verão de 2017 e RC₂ no inverno de 2017. As sementes das gerações F₂ e F₃ foram obtidas por autofecundação natural dos híbridos F₁ e F₂, respectivamente.

Após cada colheita das espigas emasculadas e polinizadas, elas foram trilhadas e os grãos foram quantificados e armazenados para análise quanto à reação à giberela em campo no inverno de 2018.

3.3.2 Experimento 2

O trabalho foi conduzido no campo experimental da Embrapa Trigo, no município de Passo Fundo, RS, localizado a 687 m de altitude, latitude 28°15' S, longitude 52°24' W, na safra de inverno 2018, onde foram utilizadas seis populações segregantes de trigo em F2RC2: CIGM90.909/BRS Guamirim; CIGM90.909/BRS 179; CIGM92.1666/BRS Guamirim; CIGM92.1666/BRS179; CIGM93.298/BRS Guamirim e CIGM93.298/BRS 179. Essas populações são oriundas de cruzamentos entre trigos sintéticos e cultivares elite de trigo, desenvolvidas em 2016 e 2017 em casa de vegetação,

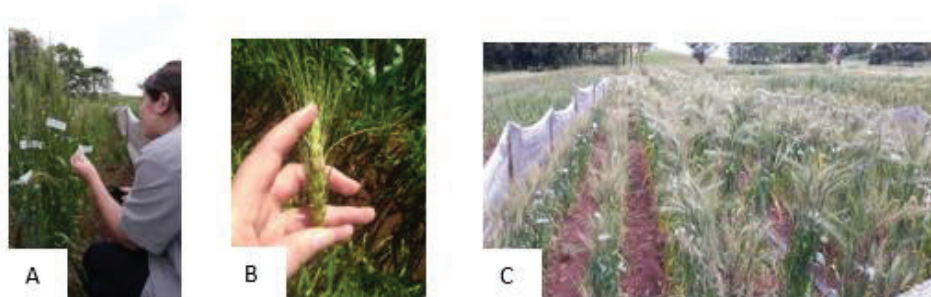
O delineamento experimental foi em blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições constituídos por seis combinações de cruzamentos e dois parentais masculinos. Cada material foi semeado manualmente no dia 16 de julho de 2018, em parcela constituída de uma linha de 5 m com 50 sementes espaçadas a 10 cm. Os espaçamentos entre duas parcelas na linha de semeadura foi de 1,00 m e lateralmente entre as parcelas foi de 0,40 m. Para os blocos, o espaçamento foi de 0,80 m para possibilitar a colocação de mangueiras sobre o solo visando ao molhamento das espigas. A condução do ensaio seguiu as Indicações Técnicas para a Cultura de Trigo e Triticale (REUNIÃO, 2017). O controle de doenças foliares foi realizado até o estágio 10 (emborrachamento) da escala de Feeks e Large (1954). Determinou-se a data em que cada cruzamento e o parental masculino atingiram 50% do espigamento e a data da coleta das espigas secas do colmo principal. Ao início do espigamento, grãos de trigo com peritécios maduros de *G. zea*, produzidos conforme protocolo usado rotineiramente na Embrapa Trigo (LIMA 2007) foram distribuídos em cada linha de irrigação (Figura 6). Após, a área experimental foi submetida ao molhamento de espigas com formação de neblina, em dias sem precipitação pluvial (LIMA e FERNANDES, 2002).

Figura 6- Produção e distribuição de grãos com peritécio na área experimental A: Preparação do isolado. B: Inoculação no grão. C: Detorroamento dos grãos colonizados por *Fusarium graminearum*. D: Grãos com peritécio pronto em caixa de areia. E: Distribuição dos grãos na lavoura em espigamento. F: Molhamento da área para ocorrência a doença giberela. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



Ao espigamento procedeu-se a identificação da espiga do colmo principal de cada planta com etiquetas e a contagem do número de espiguetas por espiga (Figura 7). Posteriormente, no estágio 11.2 (grão em massa mole) de Feeks e Large (1954) foram quantificadas por espiga, sem destacar da planta, o número de espiguetas com sintomas de giberela, para a determinação da severidade real. A classificação da resistência genética foi baseada na escala de Kohli (1989): 0 – imune, 1 - resistente (1–5% severidade), 2- moderadamente resistente (5–25% severidade), 3 - moderadamente suscetíveis (25–50% severidade), 4 - suscetíveis (50–75% severidade), 5 - muito suscetíveis (>75% severidade). Esse método foi realizado para determinação da resistência tipo II.

Figura 7- Identificação da espiga do colmo principal para análise de severidade real da doença. A: Identificação das espigas do colmo principal. B: Contagem de espiguetas doentes. C: Identificação espiguetas em área total. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



Na época da maturação do trigo foram colhidas, manualmente, todas as linhas de cada parcela, onde foram avaliadas as seguintes características (Figura 8):

- Altura das plantas (AP): mediu-se o comprimento do perfilho do colmo principal, em centímetros, do nível do solo ao ápice da espiga, sem as aristas;
- Número de grãos por espiga do colmo principal de cada planta na linha (NGE): o número de grãos por espiga foi avaliado em todas as espigas de cada linha colhidas do perfilho principal, debulhadas manualmente, contando-se o número total de grãos obtidos por espiga. As medidas e contagens foram efetuadas em laboratório;
- Número de grãos sadios (NGS) e número de grãos giberelados por espiga (NGB) do colmo principal de cada planta na linha: Os grãos debulhados manualmente foram separados em grãos normais e grãos giberelados em laboratório, para avaliação da resistência tipo III;
- Rendimento de grãos por planta (RGP): os perfilhos restantes de cada planta da linha foram colhidos e trilhados separadamente em trilhadora elétrica estacionária. A entrada de ar foi reduzida visando à retenção total de grãos. Após, as amostras foram passadas pelo soprador, para eliminação do excesso de palha e então contados para determinação do rendimento de grãos por planta (LIMA, 2002).

Figura 8- Procedimentos realizados para coleta e análise das espigas do colmo principal. A: Medição de altura da planta de trigo do colmo principal identificada. B: Etiquetas para coletas de Plantas. C: Coleta das espigas do colmo principal. D: Espigas do colmo principal trilhadas manualmente. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



Os dados morfológicos de forma e densidade da espiga foram obtidos de acordo com os descritores morfológicos propostos pelo MAPA (1998), no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, na fase de maturação, após a colheita na espiga do perfilho principal, antes da debulha manual (Figura 9).

Figura 9 - Análise dos genótipos para dados morfológicos das espigas do colmo principal. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



Determinou-se o subperíodo, em dias, da sementeira ao espigamento (subperíodo de espigamento) e o ciclo da sementeira à colheita de espiga seca (ciclo de maturação), das populações segregantes de trigo e dos parentais masculinos. Estes ciclos foram definidos com bases, nos parentais masculinos: BRS Guamirim de ciclo precoce, BRS 179, de ciclo - médio. Os valores utilizados para definição dos subperíodos do

espigamento foram: super precoce < 70 dias; precoce de 70 a < 80 dias; médio de 80 a < 90 dias; tardio de 90 a < 100 dias e super tardio de \geq 100 dias. Para o ciclo de maturação, os valores utilizados foram: super precoce < 125 dias; precoce 125 a < 130 dias; médio 130 a < 140 dias e tardio 140 a < 150 dias.

Os dados climáticos de 2018, foram obtidos na página online do laboratório de meteorologia da Embrapa Trigo, sendo identificados os dias de cada mês a partir do espigamento (setembro, outubro, novembro do ano de 2018), com precipitações > que 0,5 mm.

As características avaliadas foram submetidas à análise de variância, utilizando-se do teste F, ao nível de 5% de probabilidade, a fim de detectar os efeitos de genótipos e repetições. Para a porcentagem da combinação de plantas resistentes (R) com moderadamente resistentes (MR) foi utilizada a média da resistência II e III. Para o teste de Tukey, ao nível de 5%, foi empregado para a comparação das médias dos genótipos em cada local. As estimativas dos coeficientes de correlação foram calculadas pelo método de Pearson.

3.4 Resultados e Discussão

3.4.1 Desenvolvimento de populações segregantes interespecíficas

O desenvolvimento da população segregante F_1 de trigo ocorreu no inverno de 2016. O número de espigas esmaculadas/polinizadas foi distinto para cada combinação de parentais, porque nem sempre se conseguiu pólen suficiente para polinizar todas as espigas emasculadas. O maior número de grãos foi visto no cruzamento CIGM93.298/BRS 179 e o menor no cruzamento CIGM90.909/BRS Guamirim (Tabela 2). Geralmente, as combinações com o parental BRS 179 tiveram maiores números de grãos, ao contrário de BRS Guamirim, com menor. A capacidade de combinação entre os genitores representa uma medida mais acurada para a seleção de populações superiores, pois os parâmetros genéticos são estimados com base nas progênies e nos genitores (PIMENTEL et al., 2013a).

Tabela 2- Número de espiguetas emasculadas/polinizadas e grãos obtidos nos cruzamentos e desenvolvimento das populações F₁, realizados no inverno de 2016. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos 2016//População F₁ (Inverno) | Espigas emasculadas/polinizadas | Nº de grãos |
|--|--|------------------------|
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 39 | 131 |
| CIGM90.909/BRS 179 | 48 | 400 |
| CIGM92.1666/BRS Guamirim | 39 | 392 |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 31 | 439 |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 37 | 500 |
| CIGM93.298/BRS 179 | 50 | 950 |

A produção das populações RC₁, ocorreram no verão de 2017. Pelo fato do trigo não ser uma cultura de verão, pode-se perceber que o número de grãos das combinações nos cruzamentos reduziu drasticamente, com excessão da combinação CIGM90.909/BRS Guamirim, que, com menos espigas polinizadas do que em F₁, produziu mais grãos (Tabela 3).

Tabela 3 - Número de espiguetas emasculadas/polinizadas e grãos obtidos nos cruzamentos e desenvolvimento das populações RC₁, realizados no verão 2016/2017. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos 2016/2017/População F₁RC₁ (Verão) | Espigas emasculadas/polinizadas | Nº de grãos |
|--|--|------------------------|
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 25 | 170 |
| CIGM90.909/BRS 179 | 30 | 180 |
| CIGM92.1666/BRS Guamirim | 30 | 150 |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 30 | 160 |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 30 | 70 |
| CIGM93.298/BRS 179 | 30 | 100 |

Alguns trabalhos têm mostrado que em cruzamentos com parental sintético, ocorreu maior produção de grãos em situação de estresse ambiental por calor. Houve acréscimo de 10% e 15% no número de grãos, mostrando que trigos sintéticos podem ser potenciais fontes também em situações ambientais adveras (SHARMA et al., 2014; JAFARZADEH et al., 2016;). Isso pode ser pelo fato de que *Ae. tauschii* cresce

amplamente em ambientes hostis e, portanto, pode ter genes úteis para a tolerância ao estresse biótico e abiótico (ELBASHIR et al., 2017). No entanto, isso foi verificado apenas em um cruzamento, e vale lembrar que a geração ainda estava em RC₁. O estresse térmico afeta negativamente os caracteres morfológicos, fenológicos e fisiológicos em todas as fases, em particular, diminui o conteúdo de clorofila e a capacidade fotossintética das folhas (PRASAD et al., 2008).

A temperatura ideal para o crescimento e rendimento do trigo é de 18 a 24 °C. A temperatura, verificada, no verão de 2017 foram altas para o cultivo do trigo, prejudicando o rendimento, embora essa espécie apresenta certa plasticidade com relação a essa variável, o que permite, mesmo nesses períodos, o desenvolvimento de populações segregantes, estratégia essa adotada por inúmeros programas de melhoramento genético. Entretanto, a exposição a 28–32 °C, por apenas cinco a seis dias, reduziu o rendimento em até 20% em trabalhos conduzidos por STONE e NICOLAS (1994). Além do mencionado, em uma cultura exposta a altas temperaturas antes da antese, o número de grãos é reduzido por meio de uma redução na espiga/m² e nos grãos/espigas (SHPIER e BLUM, 1991; BARNABAS et al., 2008). Isso porque, alta temperatura afeta a mobilização de amido dentro da antera interrompendo o desenvolvimento do grão de pólen e intensificando sua mortalidade (ZHANG et al., 2012).

Numerosas pesquisas relataram que o número de grãos está positivamente associado com a taxa fotossintética (TIAN et al., 2011) e condutância estomática pós-antese (ZHENG et al., 2011). No presente estudo, visando ao desenvolvimento das diferentes gerações de híbridos foi verificado claramente o efeito/interação dos genótipos e ambiente. Cabe ressaltar que efeitos genéticos e de ambiente influem direta ou indiretamente sobre o caráter rendimento de grãos e sobre os demais caracteres agronômicos importantes na seleção de plantas (FEHR, 1987). Nesta geração, os cruzamentos tiveram, praticamente, o mesmo número de espigas emasculadas e polinizadas (excessão do cruzamento CIGM90.909/BRS Guamirim), o que fica melhor de evidenciar, o número de grãos, com a combinação a qual foi utilizado como genitor paterno a cultivar BRS 179.

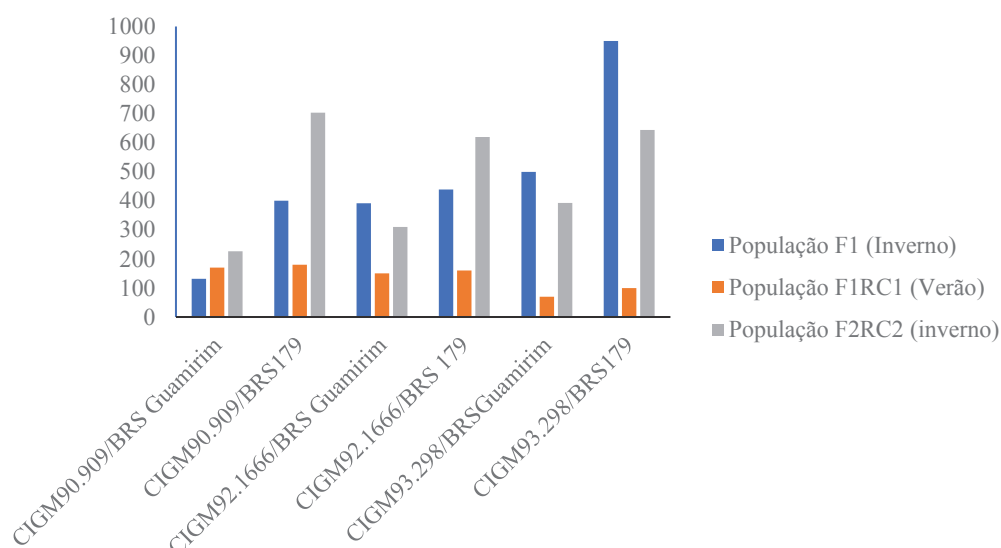
A última geração de populações segregantes produzida neste trabalho foi desenvolvida no inverno de 2017. Todas as combinações de cruzamento, tiveram o mesmo número de espigas polinizadas e emasculadas. Além disso, vale lembrar que como o trabalho foi realizado em casa de vegetação, as condições eram controladas e iguais para todas as plantas. Nesta geração pode-se ver nitidamente que todos os genótipos de trigos sintéticos quando cruzados com a cultivar BRS 179, apresentaram maior número de grãos. Em contrapartida todos os genótipos cruzados com a cultivar BRS Guamirim, apresentaram menores números de grãos (Tabela 4).

Tabela 4- Número de espiguetas emasculadas/polinizadas e grãos obtidos nos cruzamentos e desenvolvimento das populações RC₁, realizados no verão 2016/2017. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos 2017/População F₁RC₂ (inverno) | Espigas emasculadas/polinizadas | Nº de grãos |
|---|--|--------------------|
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 40 | 226 |
| CIGM90.909/BRS 179 | 40 | 703 |
| CIGM92.1666/BRS Guamirim | 40 | 310 |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 40 | 620 |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 40 | 393 |
| CIGM93.298/BRS 179 | 40 | 644 |

Nota-se nitidamente que o número de sementes produzidas pelas populações segregantes de trigo desenvolvidas com o parental masculino BRS 179 foram maiores em comparação com BRS Guamirim (Figura 5).

Figura 5- Número de grãos das populações segregantes de trigo, oriundas do cruzamento entre trigos sintéticos e cultivares comerciais de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



A seleção de cruzamentos que apresentem entre genitores uma boa combinação maximiza o rendimento de grãos por planta, o número de grãos por espiga e a estatura de planta (BORNHOFEN et al., 2013). As principais características desejadas para os novos cultivares de trigo são: rendimento de grãos; qualidade industrial; tolerância à germinação na espiga, a moléstias, à seca, ao alumínio tóxico do solo, à debulha natural e ao acamamento; capacidade de afilhamento; boa resposta à adubação e ampla adaptabilidade e estabilidade fenotípica (MARCHIORO et al., 2009).

Os grandes contrastes, para importantes caracteres agronômicos permitirá em conjunto com as estimativas dos graus de dominância/heterose bem como dos estudos de herdabilidade e correlações obtidos, conduzir adequadamente as populações segregantes, visando a obtenção de linhagens, as quais, eventualmente poderão ser transformadas em novas cultivares de interesse para a triticultura do estado do Rio Grande do Sul.

3.4.2 Avaliações agronômicas e morfológicas de populações segregantes

Por meio da análise de variância, encontrou-se diferença significativa para os parâmetros avaliados entre as populações segregantes de trigo e os parentais masculinos, exceto para número de plantas (Tabela 5) e forma de espiga (Tabela 6).

Tabela 5- Resumo da análise de variância das populações segregantes de trigo e dos parentais masculinos, avaliadas no campo em 2018 na Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| F. V. | G L | Quadrado Médio | | | |
|------------|-----|--------------------|-------|-------|--------|
| | | NP | NET | NEG | PEG |
| Bloco | 3 | 9,83 ^{ns} | 3,56* | 1,35* | 15,69* |
| Tratamento | 7 | 11,5 | 18,84 | 12,26 | 776,63 |
| Resíduo | 21 | 17,5 | 0,38 | 1,29 | 44,58 |
| CV (%) | | 10,24 | 3,62 | 15,50 | 15,20 |

* significativo ($p < 0,05$), ns = não significativo ($p > 0,05$). NP=número de plantas; NET=número de espiguetas totais; NEG=Número de grãos giberelados; PEG=porcentagem de grãos giberelados

Tabela 6- Resumo da análise de variância das populações segregantes de trigo e dos parentais masculinos, avaliadas no campo em 2018, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| F. V. | GL | Quadrado médio | | | | | | | | |
|------------|----|----------------|-------|--------|-------|---------|--------|------------------|-------|-------|
| | | NGT* | NGB* | PGB* | NGS* | RGP* | EP* | FE ^{ns} | DE* | R+MR* |
| Bloco | 3 | 46,53 | 9,69 | 178,24 | 25,79 | 9057,98 | 99,12 | 1,16 | 3,36 | 4,88 |
| Tratamento | 7 | 122,83 | 32,88 | 161,69 | 44,96 | 1706,90 | 493,15 | 1,45 | 20,17 | 4,12 |
| Resíduo | 21 | 3,85 | 3,50 | 41,88 | 3,17 | 275,39 | 18,06 | 0,79 | 1,08 | 1,03 |
| CV (%) | | 8,18 | 13,48 | 10,45 | 17,68 | 10,57 | 5,54 | 35,08 | 2,32 | 20,79 |

* significativo ($p < 0,05$), ns = não significativo ($p > 0,05$). NGT=número de grãos totais; NGB=número de grãos giberelados; PGB=porcentagem de grãos giberelados; NGs=número de grãos sadios; RGP=rendimento de grãos por planta; EP=estatura de planta; FE=forma de espiga; DE=densidade de espiga, R+MR= resistente + moderadamente resistente.

No subperíodo de espigamento, todas as populações segregantes (F₁RC₂) realizadas com o parental masculino BRS Guamirim apresentaram ciclo precoce, já as cruzamentos realizados com o BRS 179 apresentaram ciclo médio, sendo que o mesmo ocorreu para o ciclo de maturação (Tabela 7). De fato, BRS Guamirim apresenta ciclo precoce e BRS 179 ciclo médio, o que foi herdado nas populações segregantes. Frizon, (2016) também caracterizou essas cultivares como ciclo precoce e médio,

respectivamente. Os ciclos das cultivares são de grande importância para auxiliar os produtores de trigo a escalonar a época de semeadura para que, em caso de ocorrência de geadas, se diminua os riscos de perdas na colheita (MAI, 2014). O número de dias para floração é determinante no estabelecimento do ciclo de uma cultivar (ALMEIDA et al., 2013).

Tabela 7- Subperíodo (dias) da semeadura ao espigamento e ciclo da semeadura à maturação, das populações segregantes de trigo em F₁RC₂ e dos parentais masculinos em 2018. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos/Parentais Masculinos | Média dias | Ciclo espigamento | Média dias | Ciclo maturação |
|----------------------------------|------------|-------------------|------------|-----------------|
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 76 | Precoce | 125 | Precoce |
| CIGM90.909/BRS 179 | 82 | Médio | 132 | Médio |
| CIGM92.1666/BRS Guamirim | 76 | Precoce | 125 | Precoce |
| CIGM92.1666/BRS179 | 82 | Médio | 132 | Médio |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 76 | Precoce | 125 | Precoce |
| CIGM93.298/BRS 179 | 82 | Médio | 132 | Médio |
| BRS Guamirim | 76 | Precoce | 125 | Precoce |
| BRS 179 | 82 | Médio | 132 | Médio |

O uso de cultivares com ciclos reprodutivos diferentes é uma prática cultural que visa o escape à doença, fazendo com que a fase reprodutiva da cultura não venha coincidir com períodos favoráveis à doença. Essa prática é recomendada para minimizar os prejuízos por giberela, fazendo com que, pelo menos, parte da lavoura não seja atingida (LIMA et al., 2002). No entanto, de acordo com Osório (1992), as condições de cultivo e as variações dos fatores climáticos ou edafológicos de cada ambiente podem influenciar a duração dos ciclos da cultura. Plantas com ciclo precoce ficam menos tempo expostas aos estresses bióticos e abióticos, permitindo a escolha da melhor época de semeadura, de forma a aproveitar as condições ambientais mais favoráveis ao seu desenvolvimento (CAMARGO, 1993). Albeirone et al. (2015), verificaram que as linhagens de trigo com ciclo tardio apresentaram índices mais altos de giberela, enquanto que as linhas de ciclo precoce, tiveram índices mais baixos da doença. Por outro lado, Szabo-Hever et al. (2018), observaram que trigos sintéticos que floresceram mais tarde mostraram menor severidade da giberela nos experimentos de campo.

Em 2018, o número de dias com precipitação > 0,5 mm foi de 13 dias em setembro, 12 dias em outubro e 11 em novembro. O volume de precipitação nesses meses ficou acima da média em 54,52%, 108,96% e 60,66%, respectivamente (Tabela 8), indicando condição favorável ao patógeno e, portanto, à ocorrência de epidemia de giberela em Passo Fundo, RS. Além das condições naturais de precipitação pluvial favorável à ocorrência da giberela, a partir do mês de setembro, início do espigamento dos genótipos, nos dias de estiagem, a área experimental foi submetida à irrigação com formação de neblina (LIMA, 2002). Desta forma, a área experimental teve condições de molhamento favorável à giberela, uma vez que a umidade é tão importante quanto a temperatura para a ocorrência de giberela no trigo.

Tabela 8- Precipitação pluvial total (mm), temperatura média (°C), nos meses de setembro, outubro e novembro de 2018, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Ano | Precipitação | | | Temperatura | | |
|--------|--------------|-------|-------|-------------|------|------|
| | Set. | Out. | Nov. | Set. | Out. | Nov. |
| 2018 | 305,5 | 197,7 | 211,6 | 16,5 | 17,8 | 20,9 |
| Normal | 197,7 | 152,9 | 131,7 | 15,7 | 17,6 | 19,6 |

Fonte: Embrapa Trigo- informações meteorológicas-
<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/app/principal/agromet.php?ano=2018>

As temperaturas ficaram acima da média em setembro e novembro (0,8 e 1,3 °C, respectivamente). Como a giberela pode ocorrer a partir do espigamento, e este, na região Sul do Brasil, ocorre na estação da primavera, pode-se dizer que anos de primavera mais chuvosa, e com temperatura mais elevadas que o normal, são anos de epidemia de giberela (LIMA, 2004). Tendo em vista que todas as populações segregantes e os parentais masculinos espigaram nos meses de setembro e outubro, e, diante das informações climáticas e molhamento das espigas com formação de neblina é inegável afirmar que houve condições extremamente favoráveis para a ocorrência da doença. A giberela infecta as espigas em condições de alta umidade favorecidas por períodos longos de molhamento, ou seja, superior a 30 horas (DEL PONTE, 2004). Aliado a este fator, temperaturas ótimas entre 20 e 30 °C, também favorecem a infecção do fungo (DEL PONTE et al, 2004). Vale lembrar que, segundo Zoldan (2008), o fungo também pode se desenvolver em uma faixa mais ampla de temperatura (10-30°C), dependendo do período de molhamento da espiga.

Anderson (2007) constatou que a incidência aumenta à medida que a temperatura aumenta de 20°C para 30°C, onde pouca ou nenhuma infecção ocorreu abaixo de 15°C.

Para a variável número de espiguetas, ocorreu a formação de quatro grupos estatisticamente distintos (Tabela 9). A cultivar BRS 179 e o cruzamento CIGM93.298/BRS179, permaneceram no mesmo grupo não diferindo estatisticamente. Esse grupo, foi o que apresentou maior quantidade de espiguetas. Já todos as populações segregantes cruzadas com BRS Guamirim, incluindo esse parental masculino permaneceram no mesmo grupo estatístico, com menor número de espiguetas. Gadimaliyeva et al. (2017), analisando traços agronômicos em três grupos de trigos sintéticos, verificaram uma média de 20 espiguetas por espiga de trigo. Valores semelhantes ao encontrado no presente trabalho nos cruzamentos com BRS 179.

Para as variáveis espiguetas com giberela e porcentual de espiguetas com giberela, ocorreu a formação de dois grupos estatisticamente distintos (Tabela 9), sendo que o cruzamento que mais apresentou espiguetas afetadas foi o CIGM93.298/BRS Guamirim (76,72%). Os outros cruzamentos e os parentais masculinos permaneceram no mesmo grupo com porcentagem menor que 50% de espiguetas doentes. Segundo a escala de Kohli (1989), todas as populações segregantes, mais os parentais masculinos foram considerados de moderadamente suscetíveis e muito suscetível, para resistência tipo II. Estudos semelhantes realizados por Hartel et al. (2004), observaram que o trigo sintético, 01NDSWG-5, desenvolvido entre a combinação de *T. turgidum* L. var. dicoccoides com *T. tauschii*, exibiu classificações de severidade para giberela de 36% e 32% . Já a cultivar Alsen que é de primavera e resistente a giberela apresentou severidade de 9 e 30%. A cultivar suscetível também utilizada no trabalho teve severidade de 70 e 96%. Esse trabalho, foi realizado na primavera e verão, sendo que as avaliações fenotípicas foram realizadas em estufa localizada no campus da universidade da Dakota do Norte.

Mendes et al. (2017), em trabalho para resistência à giberela em cultivares de trigos brasileiros, observaram alta severidade (> 70%) nas espigas de todos os genótipos de trigo aos 5 dias após a incubação de 2 dias, especialmente em plantas inoculadas com *F. graminearum*.

Tabela 9- Número de espiguetas por planta (NEP), número de espiguetas gibereladas (NEG) e percentual de espiguetas gibereladas (PEG) nas populações F₁RC₂ e nos parentais masculinos, em 2018. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos/Parentais Masculinos | NEP | NEG | PEG |
|----------------------------------|----------|---------|---------|
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 15,00 c | 7,16 b | 47,72 b |
| CIGM90.909/BRS 179 | 17,68 b | 7,77 b | 42,69 b |
| CIGM92.1666/ BRS Guamirim | 15,14 c | 6,00 b | 39,30 b |
| CIGM92.1666/BRS179 | 18,55 ab | 6,73 b | 36,00 b |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 14,82 c | 11,39 a | 76,72 a |
| CIGM93.298/BRS 179 | 19,29 a | 6,83 b | 35,26 b |
| BRS Guamirim | 14,86 c | 5,83 b | 39,20 b |
| BRS 179 | 19,85 a | 6,95 b | 34,65 b |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Para a variável número de grãos (Tabela 10) ocorreu a formação de dois grupos, sendo que no grupo (a), ficaram os cruzamentos realizados com o parental masculino BRS 179, apresentando maiores números de grãos, já o grupo (b) ficou composto pelo parental masculino BRS Guamirim e todos os cruzamentos realizados com o mesmo, com menos números de grãos. No número de grãos giberelados, ocorreu a formação de quatro grupos estatisticamente distintos, sendo que o cruzamento CIGM93.298/BRS179 apresentou mais grãos giberelados e o que menos apresentou foi CIGM93.298/BRS Guamirim. Na porcentagem de grãos giberelados, ocorreu a formação de três grupos, sendo que a maioria dos cruzamentos com exceção de CIGM90.909/BRS 179 e dos parentais masculinos apresentaram valores acima de 50% de grãos giberelados. Martin et al. (2017) verificaram, em estudo de resistência à giberela, que, geralmente, todas as amostras inoculadas com *F. graminearum*, incluindo todas as variedades em todos os ambientes, continham grãos afetados pela doença em várias proporções.

Em contrapartida para o número de grãos sadios, os melhores resultados foram observados no parental BRS 179 e no cruzamento CIGM90.909/BRS 179 que não diferiram estatisticamente. No entanto, o parental BRS Guamirim e os cruzamentos derivados do mesmo, CIGM92.1666/ BRS Guamirim, CIGM93.296/BRS Guamirim, apresentaram menores valores para grãos sadios.

No caso do número de grãos por planta, ocorreu a formação de quatro grupos estatisticamente distintos, onde o melhor rendimento foi encontrado no cruzamento CIGM93.298/BRS 179 e o mais baixo no CIGM90.909/BRS 179 (Tabela 10). O rendimento de grãos em trigo é determinado por vários componentes: número de espigas por planta, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga e por espiguetas e peso médio do grão, dependendo diretamente dos fatores de origem genética e de ambiente (GRAFIUS, 1956; CRUZ, 2004). Em 2003, Chuanmai 42, uma cultivar obtida de um cruzamento entre um trigo sintético do CIMMYT e um variedade de trigo, foi lançado na China, produzindo 22,7%, superior ao controle comercial cv. Chuanmai 107 (YANG et al., 2009). Já Ogonnaya et al. (2007) descobriram que linhas resultantes de trigos sintéticos renderam 8–30% mais do que as cultivares elite de trigo em diversos ambientes. Isso reforça, pesquisas anteriores realizadas no CIMMYT, em que linhas derivadas de trigo sintético conseguiram melhorar significativamente o rendimento de grãos entre os ambientes (ORTIZ et al., 2008).

Tabela 10- Número de grãos por espiga (NGE), número de grãos giberelados (NGG), porcentagem de grãos giberelados (PGG), número de grãos sadios por planta (NGS) e número de grãos por planta (NGP) nas populações F₁RC₂ e nos parentais masculinos, em 2018. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos/Parentais Masculinos | NGE | NGG | PGG (%) | NGS | NGP |
|----------------------------------|---------|-----------|----------|----------|-----------|
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 20,62 b | 11,75 bc | 60,52 ab | 8,83 bc | 154,78 bc |
| CIGM90.909/BRS 179 | 27,67 a | 12,83 bc | 49,58 b | 14,73 a | 134,05 c |
| CIGM92.1666/ BRS Guamirim | 18,45 b | 11,75 bc | 67,55 a | 6,71 c | 137,70 bc |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 31,60 a | 16,18 ab | 60,69 ab | 11,80 ab | 150,75 bc |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 18,60 b | 11,64 c | 66,76 a | 6,84 c | 153,05 bc |
| CIGM93.298/BRS 179 | 31,60 a | 19,48 a | 64,43 ab | 12,14 ab | 198,11 a |
| BRS Guamirim | 18,26 b | 12,09 bc | 68,65 a | 6,12 c | 152,80 bc |
| BRS 179 | 28,84 a | 15,48 abc | 57,38 ab | 13,37 a | 174,90 ab |

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Na variável estatura de planta (EP), ocorreu a formação de dois grupos estatísticos, sendo que no primeiro ficaram todos os cruzamentos realizados com o parental BRS 179, onde as plantas foram maiores e no segundo, todos os cruzamentos realizados com BRS Guamirim e com plantas menores (Tabela 11). A estatura das plantas tem sido relatada

como um mecanismo passivo de resistência à giberela em inúmeros estudos, onde plantas mais altas tendem a ter menos doenças (BUERSTMAYR et al., 2012). Estudo de He et al. (2013), também revelou essa tendência, sendo que dos 12 acessos que apresentam pouquíssima infecção, oito eram mais altos que 120 cm. É certo que podem existir novos genes ou alelos de resistência naqueles acessos altos e a falta de sintomas de giberela é geralmente associada à alta estatura e baixo rendimento, e a experiência de reprodução na China mostrou que é difícil utilizar esses materiais no melhoramento (ZHOU, 2003; BAI E SHANER, 2004). Gadimaliyeva et al. (2017), estudando traços agronômicos em linhas derivadas de trigos sintéticos, verificaram altura média para todos os trigos sintéticos e seus derivados, variando de 85-126 cm, sendo que nenhuma linha foi considerada semi-anã. Szabo-Hever et al. (2018) indicaram que as plantas de trigo sintético mais baixas tinham maior severidade da doença. A relação entre a resistência e altura de planta foi confirmada por meta-análise de vários QTLs. Plantas mais baixas afetam diferentemente a severidade da giberela, aliado ao fato de que os mecanismos das associações são complicadas (MAO et al., 2010). Em geral, isso ocorre, também, porque as plantas mais altas podem secar mais rapidamente e ser menos infectados pela doença (CHENG et al., 2018).

A resistência à giberela tem sido frequentemente encontrada associada a características morfológicas e ao desenvolvimento das plantas, especialmente altura, arquitetura de espiga, extrusão de anteras e data de floração, atuando principalmente como fatores de resistência passiva (MESTERHAZY, 1995).

Na forma de espiga, nenhum material diferiu estatisticamente (Tabela 11). Já na densidade de espiga ocorreu a formação de quatro grupos distintos, sendo que a maior densidade foi encontrada no cruzamento CIGM93.298/BRS Guamirim e a menor em cruzamentos realizados com o parental BRS 179 (Tabela 11). Algumas características morfológicas estão associadas com o aumento da doença. Em genótipos com espigas densas a tendência é de rápida disseminação do patógeno, ao contrário de genótipos de espiga laxa. Além disso, os genótipos de porte baixo são mais severamente infectados do que os genótipos de porte alto (ALVES et al., 2013).

Tabela 11- Estatura de planta (EP), forma de espiga (FE) e densidade de espiga (DE), nas populações F₁RC₂ e nos parentais masculinos, em 2018. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos/Parentais Masculinos | EP (cm) | FE | DE (mm) |
|----------------------------------|---------|--------|-----------|
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 69,87 b | 2,07 a | 46,07 bc |
| CIGM90.909/BRS 179 | 84,69 a | 3,41 a | 42,33 d |
| CIGM92.1666/ BRS Guamirim | 63,86 b | 2,29 a | 44,79 bcd |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 82,61 a | 3,30 a | 42,74 d |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 71,71 b | 2,03 a | 48,82 a |
| CIGM93.298/BRS 179 | 90,14 a | 2,29 a | 44,39 cd |
| BRS Guamirim | 62,47 b | 1,88 a | 47,12 cd |
| BRS 179 | 88,73 a | 2,93 a | 43,42 d |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Através da análise de correlação dos dados (Tabela 12), verificou-se que quanto maior o número de espiguetas gibereladas, também foi maior a porcentagem de espiguetas gibereladas. Por sua vez, quanto maior o número de grãos giberelados, maior será a porcentagem de grãos giberelados. As outras variáveis analisadas tiveram uma correlação fraca, visto que Dancey e Reidy (2005) mostram que as correlações são baseadas desta forma: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte).

Tabela 12- Correlação de Pearson de todas as variáveis analisadas

| Variáveis | NEG | PEG | NGG | PGG | NGS | RGP | EP | FE | DE |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|----|
| NEG | 1 | | | | | | | | |
| PEG | 0,96 | 1 | | | | | | | |
| NGG | 0,11 | - | 1 | | | | | | |
| PGG | 0,36 | 0,34 | 0,56 | 1 | | | | | |
| NGS | -0,32 | -0,36 | -0,30 | -0,85 | 1 | | | | |
| RGP | 0,17 | 0,09 | 0,23 | 0,03 | 0,08 | 1 | | | |
| EP | - | -0,12 | 0,32 | -0,15 | 0,38 | 0,28 | 1 | | |
| FE | - | - | 0,06 | -0,18 | 0,27 | 0,15 | 0,28 | 1 | |
| DE | 0,32 | 0,38 | - | 0,17 | -0,20 | 0,20 | -0,17 | -0,48 | 1 |

NEG= Número de espiguetas gibereladas; PEG= Porcentagem de espiguetas gibereladas; NGG= Número de grãos giberelados; PGG= Porcentagem de grãos giberelados; NGS= Número de grãos sadios; RGP= rendimento d egrãos por planta; EP= Estatura de Planta; FE=Forma de espiga e DE= Dendidade de espiga,

onde $** (p < 0,01)$; $*(p < 0,05)$ pelo teste t, em que $0 < r_{xy} < 0,3$ (correlação fraca); $0,3 \leq r_{xy} < 0,6$ (correlação moderada); $r_{xy} \geq 0,6$ (correlação forte) (CALLEGARI-JACQUES, 2003)

Tendo por base os resultados das variáveis analisadas, nos testes para verificar a resistência tipo II e III dos cruzamentos e dos parentais masculinos, foi identificada que a melhor resistência à giberela está presente no cruzamento do acesso sintético CIGM90.909 com a cultivar BRS 179 (Tabela 13). Nesse material mais de 60% apresentou resistência, além de apresentar ciclo médio, estando no grupo das plantas mais altas e menos densas, o que corrobora com alguns autores que destacam que plantas mais altas florescem mais tarde, apresentando melhor resistência para a giberela. As cultivares de trigo diferem em sua resposta à giberela, onde alguns são mais resistentes e outros são altamente suscetíveis, mas nenhum genótipo está imune (GUNUPURU et al., 2017).

Embora a população F_1RC_2 CIGM90.909/BRS179 foi a mais resistente aos tipos II e III, teve menor rendimento. Geralmente, é difícil combinar o conjunto completo de características desejadas em um cruzamento inicial entre um trigo sintético primário e um trigo elite ou cultivar comercial. Há baixa probabilidade de encontrar linhas com rendimento, resistência a doenças e desempenho agrônomico igual ou maior que um trigo de elite que ao mesmo tempo que há boa qualidade de grãos. Portanto, linhas desenvolvidas dessa maneira podem ser uma fonte útil da diversidade genética, mas precisa apresentar características agrônomicas competitivas ou superiores a variedades comerciais de trigo em todos os aspectos (DUNCKEL et al., 2017).

Tabela 13- Porcentagem da combinação de plantas resistentes (R) com moderadamente resistentes (MR) nas populações F_1RC_2 e nos parentais masculinos, em 2018. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos/Parental Masculino | Combinação de Plantas R + MR (Tipo II e III %) |
|--------------------------------|--|
| CIGM90.909/BRS 179 | 6,9 a |
| BRS 179 | 5,5 ab |
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 5,3 ab |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 4,9 ab |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 4,4 b |
| CIGM92.1666/BRS Guamirim | 4,4 b |
| GIGM93.298/BRS 179 | 4,1 b |
| BRS Guamirim | 3,7 b |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados do presente estudo foram menos satisfatórios do que os encontrados por Zhu et al., (2015), que avaliando linhas de trigos sintéticos do CIMMYT (SYN1-Mayoor // Tksn1081 / *Ae. squarrosa*-222,), classificaram como sendo altamente resistente à giberela, com um índice médio de 5,7% ao longo de dois anos. Jin et al. (2013) caracterizaram a resistência de 363 linhagens sintéticas provenientes dos EUA e constataram que 75% apresentaram-se suscetível e moderadamente suscetível (43% e 32%, respectivamente), pois apenas 25 (7,0%) foram classificadas como resistentes. Szabo-Hever et al. (2018), analisaram um total de 149 linhagens de trigos sintéticos e seus progenitores tetraplóides de trigo (*T. turgidum* L.) para análise de diversidade genética e avaliação da resistência a giberela. Estas linhas sintéticas foram desenvolvidas a partir do cruzamento de 10 acessos de *Ae. tauschii* e 74 acessos tetraplóides de trigo pertencentes ao trigo duro e cinco outras subespécies de trigo tetraplóide (*T. carthlicum*, *T. dicoccum*, *T. polonicum*, *T. turgidum* e *T. turanicum*) e encontraram nesse estudo, 13 linhas sintéticas mostrando um alto nível de resistência à giberela. Essas linhas tiveram uma redução média de 18,3% de giberela em comparação com os pais tetraplóides. Nesse trabalho, a população segregante CIGM90.909/BRS179, também mostrou-se mais resistente que os pais o que pode indicar que o genoma D pode desempenhar um papel importante na redução da gravidade da doença nos trigos sintéticos (SZABO-HEVER et al., 2018).

No geral, essas observações sugerem que todos os tipos de resistência à giberela estão interagindo e podem ser interdependentes (MESTERHÁZY et al., 1999; MESTERHÁZY, 2002). No entanto, acredita-se que a resistência a essa doença é dada por uma combinação de sua resposta à incidência e severidade (GIANCASPRO et al., 2016).

3.5 Conclusões

Nas três gerações desenvolvidas (F_1 , RC_1 e RC_2), as melhores combinações de cruzamentos, verificadas pelo número de grãos, foi com o parental masculino BRS 179, sendo que em duas gerações consecutivas RC_1 e RC_2 , o maior número de grãos foi em CIGM90.909/BRS179. Para avaliações realizadas a campo em 2018, a população F_1RC_2 CIGM90.909/BRS 179 apresenta melhores resultados para resistência à giberela, mas menor rendimentos de grãos por planta. Diante disso, evidencia-se que os cruzamentos realizados com o parental masculino BRS 179 tiveram melhores resultados para a resistência a doença, contrapondo-se com BRS Guamirim, uma vez que as populações foram mais suscetíveis. Recomenda-se, dar sequência ao desenvolvimento de populações segregantes, por meio de retrocruzamentos com ambos parentais masculinos visto que os retrocruzamentos ainda estão em RC_2 , ou seja, nem todas as características ainda foram passadas nas gerações segregantes. Necessita-se avançar gerações para uma conclusão definitiva.

4 CAPÍTULO II

Estabilidade genética nas populações segregantes interespecíficas de trigo, estimada pelo índice meiótico e viabilidade polínica

4.1 Resumo

O trigo sintético é desenvolvido através do cruzamento de espécies tetraploides (*Triticum turgidum*, AABB) com uma espécie diploide (*Aegilops tauschii*, DD), seguido de duplicação cromossômica através do uso de colchicina para restaurar a fertilidade originando assim um trigo sintético hexaploide. A principal importância da produção de trigo sintético é aumentar a variabilidade genética e incorporar genes de resistência a estresses bióticos e abióticos no trigo cultivado. Este estudo teve como objetivo avaliar o índice meiótico e a viabilidade polínica de populações segregantes em F₁RC₂ de trigo oriundas do cruzamento entre trigos sintéticos e cultivares comerciais de trigo. Para análise de índice meiótico três plantas foram coletadas por genótipo, antes da antese, e os tecidos foram fixados em solução de Carnoy. As lâminas citológicas foram preparadas pelo método de maceração e as células foram coradas com carmim acético a 1% e observadas sob um microscópio óptico, sendo analisadas tétrades normais e tétrades com micronúcleos. Para a análise da viabilidade polínica, as inflorescências foram coletadas no estágio de grãos de pólen maduro (fase anterior a antese) e fixadas em Carnoy. O procedimento metodológico foi semelhante ao das tétrades. No entanto, os grãos de pólen foram avaliados em: viáveis, com pouco amido, com presença de dois poros, tamanho diferentes e inviáveis. Dez grãos de pólen por lâminas foram medidos pelo programa Axion Vision. Todas as populações segregantes apresentaram Índice Meiótico (IM) acima de 90%, refletindo também em uma viabilidade polínica elevada em todos os genótipos (acima de 85%). Isso significa que o comportamento meiótico de todas as populações segregantes encontram-se estáveis. Quanto ao tamanho, o cruzamento CIGM90.909/BRS 179 apresentou os maiores grãos de pólen (58,43 µm), enquanto que o CIGM93.298/BRS Guamirim apresentou os menores (47,15 µm). Com base nos resultados, as populações segregantes de trigo foram considerados meioticamente estáveis e adequadas para seguirem em programas de melhoramento de trigo.

Palavras-chave: 1. Trigo sintético. 2. Retrocruzamentos. 3. Comportamento meiótico

4.2 Introdução

O trigo hexaploide (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais mais importantes do mundo tendo muitos estudos citogenéticos, moleculares e evolutivos sobre a estrutura genética e genômica das várias espécies do grupo (*Aegilops*, *Amblyopyrum* e *Triticum*) e

sobre as relações entre os vários parentes selvagens, bem como entre eles e as espécies domesticadas (MOLNÁR-LÁNG, et al., 2015). Originário da hibridização entre um trigo tetraploide, contendo os genomas AABB (*T. turgidum* spp. *durum*., $2n = 4x = 28$ cromossomos) e outro diploide *Aegilops tauschii* Coss. (sinônimos *Ae. squarrosa*; *T. tauschii*), genoma DD ($2n = 2x = 14$ cromossomos) (Kihara, 1944; Mcfadden e Sears, 1946), teve a sua domesticação nas lavouras primitivas do Sudeste da Ásia de 7000 a 9000 anos A.C., sendo introduzido na Índia, na China e na Europa desde 5000 anos A.C. (MORAES-FERNANDES et al., 2000).

Dentre as espécies que contribuíram na evolução do trigo, destaca-se *Ae. tauschii*, onde foi considerado como recurso genético inestimável para a melhoria do trigo cultivado (ARORA et al., 2018), principalmente por esse genoma possuir importantes caracteres comercialmente úteis, dentre os quais tolerância/resistência aos estresses bióticos e abióticos. Uma maneira de trazer potenciais genes de resistência a partir de *Ae. tauschii* para programas de melhoramento de trigo é o desenvolvimento de trigo sintético hexaploide (OGBONNAYA et al., 2013). Tais trigos são obtidos a partir de cruzamentos artificial entre a espécie tetraploide *T. turgidum* = *T. durum* (genoma AABB, $2n = 28$) e o parente selvagem *Ae. tauschii* (genoma DD, $2n = 14$), seguido de cultivo in vitro do embrião imaturo e aplicação da colchicina, visando à duplicação cromossômica e a fertilidade nas plântulas regeneradas para restabelecer a condição hexaploide (TRETOWAN e VAN GINKEL, 2009). Essas formas sintéticas representam um produto novo, onde o genoma da espécie afim torna-se disponível por ser mais facilmente cruzado com a forma cultivada (MORAES-FERNANDES et al., 2000).

Espécies silvestres são consideradas repositórios de genes e via hibridação interespecífica, tem sido possível o melhoramento de muitas variedades de culturas agronomicamente importantes (HAJJAR e HODGKIN, 2007). No entanto, é comum a observação de algumas irregularidades cromossômicas (instabilidade meiótica) decorrentes da prática de hibridação ou da própria autofecundação (SHOPOVA, 1966; NOVÁK e BETLACH, 1970).

Os programas de melhoramento vegetal estão fundamentados na obtenção de cultivares superiores, a partir do potencial reprodutivo dos gametas e da manipulação da variabilidade genética existente no germoplasma de determinada espécie (MARTINS, 2010). A determinação do Índice Meiótico (IM) informa a porcentagem de tétrades normais (sem a presença de micronúcleos), infere sobre o comportamento cromossômico durante a meiose I e II e tem sido considerada um critério importante em estudos quanto à estabilidade genética/cromossômica de espécies vegetais (TONIAZZO et al., 2018). Isso porque, é muito comum na família Poaceae, a ocorrência de irregularidades meióticas. Dentre as mais comuns, verifica-se a migração precoce dos cromossomos para os polos e cromossomos retardatários em metáfases e principalmente micronúcleos em tétrades (MENDES-BONATA et al., 2006).

Micronúcleos são definidos como estruturas resultantes de cromossomos inteiros ou de fragmentos cromossômicos que se perdem na divisão celular e, por isso, não são incluídos nos núcleos das células-filhas, permanecem no citoplasma das células interfásicas e podem causar perdas de material genético nas plantas (HEDDLE, 1973).

A característica cromossômica e seu comportamento meiótico também podem ser explorados como uma ferramenta prática para a escolha de espécies parentais em cruzamentos (MENDES-BONATA et al., 2006). A elevada instabilidade meiótica, associada às anormalidades genéticas e/ou aberrações cromossômicas, podem prejudicar a obtenção dos padrões mínimos exigidos para a produção de sementes, assim como afetar a polinização e, conseqüentemente, a fecundação (BIONE et al., 2000).

Aliado a isso, e para garantir o sucesso no uso de indivíduos superiores selecionados e, principalmente, para produção de novas cultivares por meio da recombinação de caracteres pela hibridação controlada, é importante que o pólen tenha viabilidade (POZZOBON et al., 2011), uma vez que grãos de pólen viáveis influenciam diretamente o sucesso da fertilização (CABRAL et al., 2013). Dessa forma, testar a viabilidade dos grãos de pólen é indispensável. As irregularidades passam a ter reflexo na viabilidade de pólen que, por consequência, influenciam a taxa de pegamento de frutos em cruzamentos e autofecundações e, conseqüentemente, a produção de sementes

híbridas ou de sementes autofecundadas. Informações diretas sobre a viabilidade do pólen, ou seja, sobre a capacidade do grão de pólen em germinar no estigma da flor e fertilizar o óvulo, são essenciais para a conservação e caracterização de germoplasma, assim como para o melhoramento genético. O estudo sobre a biologia reprodutiva de espécies de plantas tem permitido a confirmação e compreensão dos resultados relatados de certos cruzamentos (da SILVA et al., 2017).

Entretanto, o exame de grãos de pólen, via análises citogenéticas, é um método rápido para estimar as anormalidades de comportamento cromossômico durante a meiose. Quando observados em fase mais tardia ou de desenvolvimento mais avançado, a análise de grãos de pólen permite avaliar algumas características anatômicas e fisiológicas importantes, fundamentais para a sua completa maturação e desenvolvimento, tais como: número de núcleos e poros, tamanho do pólen e quantidade de amido. Além disso, os estudos dos quartetos (fase final da meiose) servem de critério adicional ao programa de melhoramento, ou seja, plantas que são anormais citologicamente podem ser descartadas ou reservadas para estudos posteriores (ZANOTTO et al., 2009). Essa avaliação pode ser realizada com base em parâmetros citológicos, como a reação a corantes, onde os métodos colorimétricos utilizam corantes químicos específicos que reagem com componentes celulares presentes nos grãos de pólen maduro (PAGLIARINI e POZZOBON, 2004).

Desta forma, o objetivo do trabalho foi de determinar o índice meiótico e analisar a viabilidade polínica e o tamanho dos grãos de pólen das populações segregantes de trigo em F_1RC_2 , oriundas do cruzamento entre trigos sintéticos e cultivares comerciais de trigo.

4.3 Material e métodos

Foram avaliados seis cruzamentos em geração RC_2F_1 , oriundos da combinação de trigo sintético com cultivares comerciais de trigo, obtidos nos anos de 2016 e 2017: CIGM90.909/BRS Guamirim; CIGM90.909/BRS 179; CIGM 92.1666/BRS Guamirim; CIGM 92.1666/BRS 179; CIGM93.298/BRS Guamirim e CIGM93.298/BRS 179. A escolha do material foi baseada na caracterização fitopatológica e citogenética dos

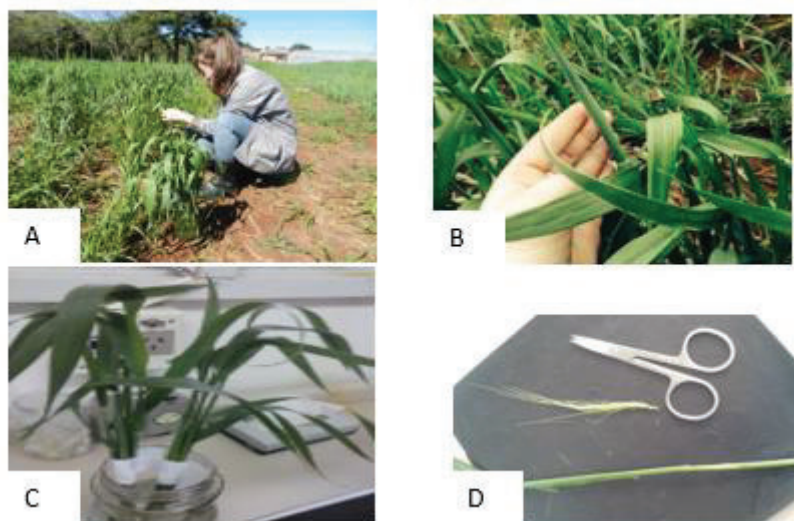
parentais masculinos (BRS Guamirim e BRS 179) e femininos (CIGM 90.909, CIGM92.1666 e CIGM93.298) realizadas no ano de 2014 e 2015, por Frizon, (2016), ressaltando que na caracterização citogenética esses genótipos apresentaram IM acima de 90%.

O ensaio foi conduzido no campo experimental da Embrapa Trigo (latitude de 28° 15' 46" S, longitude de 52° 24' 24" W e altitude de 684 m), em Passo Fundo, RS, no ano de 2018 e as análises citogenéticas foram realizadas no Laboratório de Biotecnologia – área de citogenética, também da Embrapa Trigo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis combinações, além dos parentais masculinos (BRS Guamirim e BRS179) e com quatro repetições. Cada cruzamento foi semeado em parcela constituída de uma linha de 5,00 m com 50 sementes espaçadas de 10 em 10 cm. A condução do ensaio seguiu as indicações técnicas para a cultura de trigo e triticales (REUNIÃO, 2017).

Para determinar o Índice Meiótico (IM) foram validadas as tétrades, a fim de identificar a presença de micronúcleos. Inicialmente, foram coletadas aleatoriamente três espigas por tratamento, no estágio 10 da escala Feeks e Large, (1954), as quais foram fixadas em Carnoy 3:1 (álcool etílico absoluto:ácido acético glacial, por 24 h, em temperatura ambiente e armazenadas em álcool 70% à temperatura de -20 °C. As lâminas foram preparadas usando as três anteras da mesma flor e da região mediana da espiga. A técnica utilizada foi a de maceração e coloração com carmim acético 1% (Figura 11). As variáveis analisadas foram: tétrades normais (sem a presença de micronúcleos) e tétrades com a presença de micronúcleos. De cada tratamento, foram feitas três repetições, onde cada repetição foi representada por uma espiga. Para cada espiga foi confeccionada uma lâmina e de cada lâmina, as primeiras 200 tétrades. O IM foi calculado segundo Love (1949), onde $IM = \frac{\text{número de tétrades normais}}{\text{número total de tétrades analisadas}} \times 100$, sendo que IM superior a 90% indica que o material é meioticamente estável.

Figura 11 - Coletas das espigas para análise de índice meiótico e presença de micronúcleos. A: Coleta do material para análise citogenética. B: Fase do trigo anterior a antese. C: Material coletado para análises citogenéticas. D: Espiga de trigo utilizada nas análises citogenéticas. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



Para a análise da viabilidade polínica, as inflorescências foram coletadas no estágio de pólen maduro (fase anterior a antese) e fixadas em Carnoy. O procedimento metodológico foi semelhante ao das tétrades. A diferença nestas análises é que em cada lâmina, 200 grãos de pólen foram contados e analisados. As variáveis analisadas foram: I) grãos de pólen viáveis; II) grãos de pólen com pouco amido; III) grãos de pólen com mais de um poro; IV) grãos de pólen com tamanhos diferentes e V) grãos de pólen vazios.

As medidas dos grãos de pólen foram realizadas pelo programa Axion Vision Release 4.8.2 e as imagens captadas pelo microscópio Zeiss – modelo Axioscop FL40. Foram analisados dez grãos de pólen em cada lâmina, sendo que foram analisadas três lâminas por bloco.

Para as análises das tétrades e viabilidade polínica, as lâminas foram observadas em microscópio óptico, com aumentos de 200 a 400x. A captura das melhores imagens foi realizada pelo programa Honestech TVR 2.5 utilizando-se o microscópio óptico Olympus

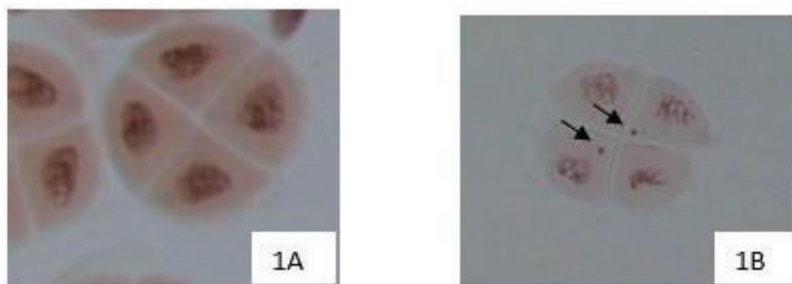
BX5. Realizou-se a análise da variância e, posteriormente, o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para todas as variáveis.

4.4 Resultados e discussão

4.4.1 Índice meiótico

A meiose, quando acontece de forma regular, deve ter ao final do processo de divisão, quatro células-filhas com a metade do número de cromossomos da célula original. No entanto, estes cromossomos devem ser íntegros e conter todos os genes que a célula original possui (Figura 12). A presença de micronúcleos em tétrades, portanto, irá resultar na formação de grãos de pólen com material genético diferente da célula-mãe (Figura 12) (URIO, 2013).

Figura 12- Células de trigo em estágio de tétrade: (A) tétrade normal. (B) tétrade com micronúcleos (seta). Aumento: 400 x. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



Para a determinação do IM, todos os cruzamentos apresentaram valores superiores a 90% (Tabela 14). Isso é considerado ideal, já que se espera que nos estudos citogenéticos esse é o parâmetro que permite inferir a estabilidade dos materiais. Esse parâmetro reflete a ocorrência de uma meiose com comportamento cromossômico regular, o que é de fundamental importância durante as hibridações e permutas genéticas nos cruzamentos entre as diferentes espécies (SOUZA, 2008; MARTINS, 2010). Plantas que apresentam IM superiores a 90% podem ser consideradas citologicamente estáveis, pois quanto maior for esse índice, mais regular é o processo meiótico (LOVE, 1949).

Tabela 14- Índice meiótico (IM) e Micronúcleos (MNC) dos parentais masculinos e das populações segregantes de trigo em F₁RC₂, obtidas na análises citológicas de tétrades de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamento | IM (%) | MNC (%) |
|--------------------------|----------|---------|
| BRS 179 | 99,37 a | 0,63 c |
| BRS Guamirim | 98,66 ab | 1,34 bc |
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 98,04 ab | 1,96 bc |
| CIGM90.909/BRS 179 | 97,85 ab | 2,15 bc |
| CIGM93.298/BRS 179 | 97,79 ab | 2,21 bc |
| CIGM92.1666/BRS Guamirim | 97,25 ab | 2,75 bc |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 96,70 b | 3,30 b |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 93,62 c | 6,38 a |

Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Inúmeros são os estudos nessa temática, onde podem ser exemplificados a seguir: Arabbeigi et al. (2010) ao avaliarem germoplasma de trigo, encontraram o IM em diferentes combinações de trigos sintéticos hexaploide (99%: Altar84/*Ae. squarrosa*; Sca/*Ae. squarrosa* e Doy1/*Ae. squarrosa*). No caso das espécies *T. dicoccum*, *T. compactum*, *T. durum* estas tiveram IM de 99,8% e para *T. dicoccoide*, IM de 99,5%. Para as espécies diploides *Ae. umbellulata*, *Ae. cylindrica*, *Ae. crassa* e *Ae. triuncialis* registraram IM de 100%. Por sua vez, Ghorbani et al. (2015) analisaram o comportamento meiótico de oito genótipos de *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* e oito genótipos de *Ae. cylindrica*, que naturalmente crescem em quatro regiões diferentes no oeste do Irã. Os resultados indicaram um IM de 82,6% para *Ae. cylindrica*, caracterizando-se como tendo comportamento meiótico relativamente instável. O contrário foi observado para *T. monococcum* subsp. *aegilopoides*, onde o IM foi de 97,1%, sendo considerada com comportamento meiótico estável. Do mesmo modo, em estudos com trigos sintéticos, Frizon et al. (2017) encontraram valores de IM acima de 90% para os acessos CIGM90.909 (GAN/*Ae. squarrosa*), CIGM92.1666 (RASCON/ *Ae. squarrosa* e CIGM93.298 (RASCON/*Ae. squarrosa*) em dois anos de estudo (2014 e 2015), onde foram analisados tétrades, por meio da maceração de anteras e coloração com corante carmim acético 2%. Toniazzi et al. (2018), analisando 67 acessos de trigos sintéticos oriundos do CIMMYT e armazenados no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Trigo, verificaram que apenas 15 foram considerados estáveis e com IM acima de 90% e

52 dos acessos com IM entre 46% e 89%, considerados citogeneticamente inviáveis e instáveis.

No presente estudo, o percentual de micronúcleos foi baixo (menos que 10%). Isso é desejável, uma vez que elevadas instabilidades meióticas, associadas a anormalidades cromossômicas, resultam na formação de plantas atípicas, macho-estéreis ou incapazes de formação de grãos de pólen, podendo prejudicar a obtenção dos padrões mínimos exigidos para a produção de sementes, assim como afetar a polinização (POZZOBON et al. 2011). A cultivar BRS 179, utilizada como parental masculino, apresentou o maior IM (99,37%) e BRS Guamirim também apresentou elevado IM (98,66%). Frizon et al. (2017), também encontraram valores elevados de IM para a cultivares comerciais avaliadas. Por exemplo, a cultivar de trigo BRS 179, tanto no ano de 2014 quanto no ano de 2015, apresentou o máximo IM (98,98% e 99,54%, respectivamente) e mínimo percentual de MCN (01,02% e 0,46%, respectivamente) e as média de IM das cultivares variaram de 95,91% e 95,26% nos anos de 2014 e 2015 respectivamente. Urio, (2013), analisando cultivares de trigo, também, verificou elevado índice meiótico, com exceção das cultivares BRS 220 e BR 25 que mostraram valores abaixo do recomendado (90%). De modo geral e de acordo com Damasceno Junior et al., (2010), maiores índices meióticos são identificados para as espécies cultivadas em relação às espécies silvestres.

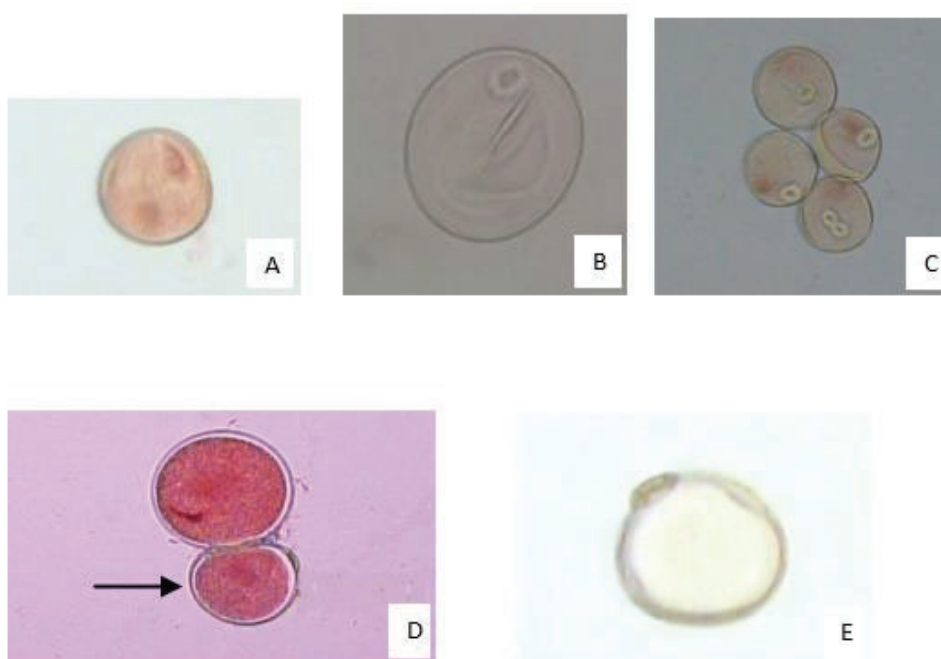
Portanto, observando-se os resultados da análise de tétrades (Tabela 14), pode-se inferir que as populações segregantes e os parentais masculinos apresentaram meiose regular. Tal situação certamente resulta em grãos de pólen viáveis e com material genético idêntico à célula original, contribuindo para a fertilidade destes grãos e para a fiel transmissão das características hereditárias (URIO, 2013).

4.4.2 Viabilidade polínica

Para a viabilidade polínica (Tabela 15), todos os cruzamentos e parentais paternos não diferiram estatisticamente, considerando-se as seguintes variáveis: grãos de pólen viáveis (bi/trinucleados e com presença de amido); pouco amido; mais de um poro;

diferença de tamanho e inviáveis (vazios). Entretanto, o cruzamento que teve menor porcentagem de grãos de pólen normal foi CIGM90.909/BRS179 (92%). Considerando a análise de variância, essa apontou diferença significativa para pouco amido e tamanhos diferentes.

Figura 13 - Viabilidade polínica analisada nas populações segregantes: (A) grão de pólen normal; (B) grão de pólen com pouco amido; (C) grão de pólen com dois poros; (D) grão de pólen com tamanhos diferentes e (E) grão de pólen vazio. Aumento: 400 x. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019



A viabilidade polínica pode ser considerada elevada para valores acima de 70% e esse porcentual seria suficiente para trabalhos de melhoramento genético da espécie (SOUZA et al., 2002). De um modo geral, os grãos de pólen viáveis apresentaram-se mais desenvolvidos, mais circulares e coraram-se melhor na presença do carmim acético, enquanto os inviáveis apresentaram-se malformados, elípticos e pouco corados pelo carmim (SOARES et al., 2011). Brambatti et al., (2016) verificaram que em genótipos de

triticale, a viabilidade polínica foi superior a 90%, em mais de 66% dos materiais analisados

Elevada percentagem de grãos de pólen viáveis normalmente é esperada como resultado de um alto percentual de tétrades normais, as quais refletiriam diretamente um processo meiótico regular (CORRÊA et al., 2005). Por sua vez, células viáveis indicam alta fertilidade masculina, visto que a eficácia dos cruzamentos depende diretamente da viabilidade polínica (TECHIO et al., 2006). Diversas espécies produzem alto percentual de grãos de pólen viáveis, embora muitos desses não são utilizados na fertilização, pois são perdidos no transporte, através dos ventos, ou servindo de alimentação aos insetos (SANTOS et al., 2015).

Tabela 15- Viabilidade polínica das populações segregantes em F₁RC₂ e parentais masculinos, obtidas na análise citológicas de grãos de pólen de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamentos | viáveis | pouco amido | mais de um poro | tamanhos diferentes | inviáveis |
|--------------------------|-----------|-------------|-----------------|---------------------|-----------|
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 189,425 a | 6,725 a | 0,000 a | 0,917 b | 2,917 a |
| CIGM90.909/BRS 179 | 184,400 a | 3,325 ab | 0,000 a | 2,417 ab | 1,500 a |
| CIGM92.1666/BRS Guamirim | 194,825 a | 3,500 ab | 0,000 a | 1,333 b | 0,333 a |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 190,525 a | 2,075 b | 0,000 a | 5,750 a | 1,667 a |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 186,275 a | 11,500 a | 0,250 a | 1,250 b | 0,750 a |
| CIGM93.298/BRS 179 | 192,500 a | 6,600 b a | 0,417 a | 0,500 b | 0,000 a |
| BRS Guamirim | 191,750 a | 8,250 b a | 0,000 a | 0,00 b | 0,000 a |
| BRS 179 | 192,600 a | 4,350 b a | 0,000 a | 2,000 ab | 1,083 a |

Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável grão de pólen com pouco amido, os cruzamentos mais os parentais masculinos formaram três grupos estatisticamente distintos, porém apresentaram valores baixos e não ultrapassando 6%, o que é considerado ideal. A presença de amido como substância de reserva é considerada importante na manutenção da viabilidade do grão de pólen, pois o amido é totalmente ou parcialmente convertido em glicose, frutose, sacarose e pectinas que aumentam a sua resistência em ambientes hostis, bem como auxiliam na germinação do tubo polínico no momento da fecundação (RODRÍGUEZ-GARCÍA et al. 2003; PACINI et al., 2006).

A variável grão de pólen com mais de um poro foi a menos encontrada, tanto nas combinações de cruzamentos como nos parentais masculinos. As únicas combinações que apresentaram um número inexpressivo foram as combinações com o trigo sintético CIGM93.298. Isso pode significar uma característica do próprio genótipo, mas não afetou as análises observadas nesse trabalho (IM e viabilidade polínica).

Os grãos de pólen de tamanhos diferentes, tiveram a formação de três grupos estatisticamente distintos. Isso é esperado já que se tratam de cruzamentos com mais de um genótipo. Grãos de pólen com tamanhos distintos são comumente encontrados nas espécies pertencentes à tribo Triticeae (ROSA et al., 2006).

Outra variável que não diferiu estatisticamente foi a de grãos de pólen vazios/inviáveis. Essa variável apresentou valores mínimos, o que também é desejado. Esse tipo de estrutura celular, apresentaram-se mal formados, elípticos e pouco corados pelo carmim (SOARES et al., 2011).

Informações sobre a viabilidade do grão de pólen são essenciais para a conservação e caracterização de germoplasma, assim como para o melhoramento genético, uma vez que as taxas de viabilidade polínica estão associadas ao comportamento meiótico (de OLIVEIRA e PIERRE, 2018). O estudo da viabilidade polínica é comumente empregado no melhoramento genético vegetal de diversas espécies, em virtude da facilidade, da rapidez, do baixo custo financeiro e da confiabilidade da técnica

(CORRÊA et al., 2005; VARGAS et al., 2005; MUNHOZ et al., 2008; CARDOSO et al., 2009).

Como a condução do experimento e o desenvolvimento das plantas foi no campo e, em virtude de fatores bióticos e abióticos também influenciarem na formação do grão de pólen e na interação genótipo/ambiente (local/ano), é relevante que em um programa de melhoramento genético vegetal a técnica da viabilidade polínica seja utilizada rotineiramente, a fim de agregar maior conhecimento sobre o material trabalhado, avançar na seleção e priorizar os melhores cruzamentos, excluindo ou deixando para estudos posteriores os materiais instáveis (BRAMBATTI et al., 2016).

4.4.3 Tamanho do grão de polén

Com relação aos tamanhos dos grãos de pólen, verificou-se a formação de cinco grupos distintos. Grupo I foi composto pelo cruzamento CIGM90.909/BRS 179, contendo os maiores tamanhos de pólen. Grupo II foi composto pelo cruzamento CIGM90.909/BRS Guamirim. O grupo III ficou com o parental masculino BRS 179 e dois cruzamentos (CIGM92.1666/BRS 179 e CIGM93.298/BRS Guamirim). O grupo IV, também ficou com um parental masculino, BRS Guamirim e o cruzamento CIGM92.1666/BRS Guamirim. O último grupo (V) foi composto pelo cruzamento CIGM93.298/BRS 179, onde foram obtidos os grãos de pólen de menor tamanhos (Tabela 16).

Tabela 16 - Tamanho de grãos de pólen das populações segregantes em F_1RC_2 e parentais masculinos, obtidas na análise citológicas. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2019

| Cruzamento | Média de tamanhos (μm) |
|--------------------------|-------------------------------------|
| CIGM90.909/BRS 179 | 58,430 a |
| CIGM90.909/BRS Guamirim | 55,713 ab |
| CIGM92.1666/BRS 179 | 53,985 abc |
| BRS 179 | 52,988 abc |
| CIGM93.298/BRS Guamirim | 51,778 abc |
| CIGM92.1666/BRS Guamirim | 50,503 bc |
| BRS Guamirim | 49,205 bc |
| CIGM93.298/BRS 179 | 47,155 c |

Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os grãos de pólen da família Poaceae são descritos como forma esférica, com opérculo rodeado por engrossamento da exina nas proximidades do poro, formando um anel e dimensões variando entre 20 e 70 μm (POÇAS, 2004). Cardoso (2007), estudando diferentes espécies de trigo, constatou que em um acesso de *Ae. tauschii*, apresentou grãos de pólen com o menor diâmetro (39,14 μm), quando comparado com quatro cultivares brasileiras e com quatro acessos de trigos sintéticos que tiveram diâmetros variando de 55,82 a 59,87 μm . Além desses, também verificou que em quatro variedades comerciais de *T. durum*, obtiveram diâmetros intermediários entre *Ae. tauschii* e *T. aestivum* com valores de 46,57 a 47,64 μm . Semelhantemente, Urio (2013) analisou 17 cultivares de trigo e verificou que as medidas dos grãos de pólen variaram entre 48,3 μm e 61,8 μm . Valores similares aos das duas cultivares utilizadas neste trabalho BRS 179 (52,98 μm) e BRS Guamirim (49,205 μm).

No presente estudo, pode-se verificar que as populações segregantes analisadas e os parentais masculinos possuem tamanhos de grãos de pólen dentro do padrão observado por outros autores e que não influenciaram na viabilidade. Diante das variáveis utilizadas, fica evidenciado que a compreensão da meiose é fundamental e tem implicações na reprodução, fertilidade e, conseqüentemente, na viabilidade econômica da produção de sementes comerciais de uma nova cultivar gerada (POZZOBON et al., 2015).

4.5 Conclusão

Tendo em vista as análises realizadas quanto ao índice meiótico, presença/ausência de micronúcleos e viabilidade polínica nas populações segregantes F₁RC₂ e parentais masculinos, pode-se inferir que todos apresentam normalidade na meiose, podendo ser utilizados em blocos de cruzamento de programas de melhoramento, por consequência de sua estabilidade genética.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve grande importância no melhoramento de plantas para resistência à giberela. Isso porque, foi utilizado nos cruzamentos e retrocruzamentos para originar populações segregantes, trigos sintéticos que são importantes fontes de resistência a doenças e ainda existem poucos estudos devido a dificuldade de serem trabalhados, já que originam plantas rústicas, com dificuldade na trilha, o que torna o trabalho com um grau de dificuldade muito maior. Sabe-se que no Brasil, muito pouco tem-se trabalhado com esse tipo de material, o que torna o trabalho diferenciado.

Os resultados encontrados para resistência a giberela realmente não foram tão satisfatórios. No entanto, 2018 foi um ano típico para ocorrência da epidemia de giberela. Isso fez com que a expressão da doença foi muito intensa. Logo, os melhores resultados encontrados nas populações segregantes são bastantes relevantes, pois são plantas com bastante potencial para seguirem em um programa de melhoramento para resistência a doença, já que recomenda-se chegar até a geração F_6 para obter-se resultados conclusivos.

Única questão que ficou a desejar no trabalho por questão de tempo e financeira foi a parte biotecnológica, uma vez que não foram usados marcadores moleculares para ajudar na seleção de plantas resistentes à doença e isso seria necessário então em uma próxima etapa do trabalho.

6 CONCLUSÃO GERAL

Considerando os dois capítulos, foi verificado que, desde 2016 e 2017 com o desenvolvimento das três populações segregantes de trigo a melhor combinação foi entre o trigo sintético CIGM90.909 e a cultivar BRS 179 para as gerações F_1RC_1 e F_1RC_2 , onde tiveram o maior número de grãos formados. No ano de 2018, com a instalação do experimento a campo, no viveiro de giberela, foi possível verificar que em CIGM90.909/BRS 179 obteve melhores resultados para resistência à giberela em comparação com os demais cruzamentos. No entanto, obteve o menor número de grãos por planta.

Fazendo uma análise mais ampla, foi possível verificar que todas as populações segregantes com o parental BRS 179 tiveram melhores resultados para a doença em comparação com BRS Guamirim. Ainda os cruzamentos realizados com BRS Guamirim originaram plantas com ciclo de espigamento e maturação precoce, de estatura mais baixa e com maior densidade de espigas. Já as cruzadas com BRS 179 foram de ciclo médio, mais altas e menos densas.

Na análise de estabilidade genética, todas as populações segregantes e os parentais masculinos analisados encontraram-se com estáveis meioticamente. Entretanto, CIGM90.909 /BRS 179 apresentou os maiores tamanhos de grãos de pólen, enquanto que CIGM93.298/BRS 179 teve os menores tamanhos. Destaca-se que enquanto o primeiro obteve menor número de grãos por planta o segundo teve maior número de grãos por plantas.

Tendo em vista os resultados para resistência à giberela fica evidenciado que deve-se dar sequência ao trabalho de desenvolvimento de populações segregantes até a geração F_6 e juntamente fazer uso de marcadores moleculares ou outra ferramenta biotecnológica,

a fim de verificar quais genes estão envolvidos no processo de resistência à giberela no material utilizado.

Referências

- ALBERIONE, E. J.; ORTEGA, L. M.; SALINES, N.; ASTORECA, A. L.; ALEONADA, T. M. Comportamiento genético de diversos genotipos de trigo frente a *Fusarium graminearum*. **Agrociencia**, v. 50, n. 3, p. 335-346, 2016.
- ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. **Introductory Mycology**. 4 ed. New York: John Wiley, 1996, 870 p.
- ALMANZA-PINZÓN, M. I.; KHAIRALLAH, M.; FOX, P. N.; WARBURTON, M. L. Comparison of molecular markers and coefficients of parentage for the analysis of genetic diversity among spring bread wheat accessions. **Euphytica**, v. 130, n.1, p. 77–86, 2003.
- ALMEIDA, F. A.; BRUSCKE, E. L.; POLIZEL, A. C.; PETTER, F. A.; HAMAWAKI, O. T.; ALCÂNTARA NETO, F. Desempenho agrônômico de linhagens e cultivares de soja frente a doenças foliares. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 2, p. 88-94, 2013.
- ALVES, R. H. **Reação de resistência à giberela em cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), avaliada em condições de campo e casa de vegetação 2010**. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon.
- ALVES, R. H.; DALLA NORA, T.; DE ASSIS FRANCO, F.; DA COSTA, A. C. T.; STANGARLIN, J. R. Reação de Resistência tipo I e tipo II a Giberela em cultivares de trigo. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 3, p. 167-171, 2013.
- ANDERSON, J. A.; CHAO, S.; LIU, S. Molecular breeding using a major QTL for *Fusarium* head blight resistance in wheat. **Crop Science**, v. 47, n. 3, p. S-112-S-119, 2007.
- ARABBEIGI, M.; ARZANI, A.; SAEIDI, G. Meiotic behavior of wild, synthetic and cultivated wheats. **Cytologia**, v. 75, n. 2, p. 169-175, 2010.
- ARORA, S.; STEUERNAGEL, B.; CHANDRAMOHAN, S.; LONG, Y.; MATNY, O.; JOHNSON, R.; CHEEMA, J. Resistance gene discovery and cloning by sequence capture and association genetics. **Biorxiv**, v. 10, p. 248-146, 2018.
- ARRAIANO, L. S.; WORLAND, A. J.; ELLERBROOK, C.; BROWN, J. K. M. Chromosomal location of a gene for resistance to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella*

graminicola) in the hexaploid wheat 'Synthetic 6x'. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 103, n. 5, p. 758-764, 2001.

BAHIELDIN A.; MAHFOUZ H. T.; EISSA H. F.; SALEH O. M.; RAMADAN A. M.; AHMED I. A.; DYER W. E.; EL-ITRIBY H. A.; MADKOUR M. A. Field evaluation of transgenic wheat plants stably expressing the *HVA1* gene for drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, n. 4, v. 123, p. 421–427, 2005.

BAI, G.; SHANER, G. Management and resistance in wheat and barley to *Fusarium head blight*. **Annual Review of Phytopathology**, 42, p. 135–161, 2004.

BAI, G.; SHANER, G. Scab of wheat: Prospects for control. **Plant Disease**, v. 78, n. 8, p. 760-765, 1994.

BARBIERI, R. L. Conservação e uso de recursos genéticos vegetais. In: FREITAS, L. B.; BERED, F. **Genética e evolução vegetal**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003, p. 403-413.

BARNABÁS, B.; JÄGER, K, FEHÉR, A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. **Plant Cell Environ**, v. 31, p.11–38, 2008.

BARZMAN, M.; LAMICHHANE, J. R.; BOOIJ, K.; BOONEKAMP, P.; DESNEUX, N.; HUBER, L.; KUDSK, P.; LANGRELL, S. R. H.; RATNADASS, A.; RICCI, P.; SARAH, J-L.; MESSEAN, A. Research and development priorities in the face of climate change and rapidly evolving pests. In: LICHTFOUSE, E. **Sustainable agriculture reviews**. Springer: Cham, 2015. p. 1-27.

BERNARDI, C., RESENDE, D. D. O., ALBUQUERQUE, A.; TIBOLA, C. **Micotoxinas no trigo**. Embrapa Trigo. Disponível em: http://www.abitrigo.com.br/cloud/cartilha_do_agricultor_micotoxinas.pdf. Acesso em: 23 de março de 2019.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A.C. Parental selection strategies in plant breeding programs. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.10, p. 211-222, 2007.

BIONE, N. C. P.; PAGLIARINI, M. S.; TOLEDO, J. F. F. Meiotic behavior of several Brazilian soybean varieties. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 3, p. 623-631, 2000.

BOFF P; STUKER H; GONÇALVES PAS. Influência da densidade de plantas na ocorrência de doenças foliares e produção de bulbos de cebola. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, p. 448-452, 1998.

BONOW, S. Coleções nucleares em bancos de germoplasma: conceito e utilização atual em trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 7 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 80). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do80.htm>. Acesso em 18 de janeiro de 2019.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2005. BORNHOFEN, E.; BENIN, G., MATEI, G.; SILVA, C. L.; BECHE, E. PAGLIOSA, E. D. Capacidade de combinação entre genitores de trigo em duas gerações. **Ciências Agrárias**, v.34, n. 6, p 3129 – 3140. 2013.

BOTTALICO, A.; PERRONE, G. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. **Journal of Plant Pathology**, v. 108, n. 7, p. 611-624, 2002.

BRAMBATTI, A.; BRAMMER, S. P.; WIETHÖLTER, P.; NASCIMENTO JUNIOR, A. D. Estabilidade genética em triticale estimada pela viabilidade polínica. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 83, 1-7, 2016.

BRAMMER, S. P.; BARCELLOS, A. L.; MORAES-FERNANDES, M. I. B.; MILACH, S. K. Bases genéticas da resistência durável à ferrugem da folha do trigo e estratégias biotecnológicas para o melhoramento no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, p. 5-20, 2000.

BRAMMER, S. P.; ZANOTTO, M.; CAVERZAN, A. Citogenética vegetal: da era clássica à molecular. Passo Fundo: Embrapa Trigo – Documentos Online, 2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/852541/1/pdo85.pdf>.

BRAUN, H. J.; ATLIN, G.; PAYNE, T. Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. **Climate change and crop production**, v. 1, p. 115-138, 2010.

BRENNAN, J. M.; EGAN, D.; COOKE, B. M.; F. M. DOOHAN, M. Effect of temperature on head blight of wheat caused by *Fusarium culmorum* and *F. Graminearum*. **Plant Pathology**, v. 54, n.2, p. 156–160, 2005

BRUNETTA, D.; DOTTO, S.R.; FRANCO, F. de A.; BASSOI, M.C. Cultivares de trigo no Paraná: rendimento, características agronômicas e qualidade industrial. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997. 48p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 18).

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. Lavras: Editora UFLA, 2006.

BUERSTMAYR, H.; BAN, T.; ANDERSON, J. A. QTL mapping and marker assisted selection for *Fusarium head blight* resistance in wheat: a review. **Plant Breeding**, v. 128, n. 1, p.1–26, 2009.

BUERSTMAYR, H.; LEMMENS, M.; HARTL, L.; DOLDI, L.; STEINER, B.; STIERSCHNEIDER, M.; RUCKENBAUER, P. Molecular mapping of QTLs for *Fusarium head blight* resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread (Type II resistance). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 104, n. 1, p. 84-91, 2002.

BUERSTMAYR, M.; BUERSTMAYR, H. 2015. Comparative mapping of quantitative trait loci for *Fusarium head blight* resistance and anther retention in the winter wheat population Capo × Arina. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 128, n. 8, p. 1519–1530, 2015.

BURT, C.; STEED, A.; GOSMAN, N.; LEMMENS, M.; BIRD, N.; RAMIREZ-GONZALEZ, R.; NICHOLSON, P. Mapping a Type 1 FHB resistance on chromosome 4AS of *Triticum macha* and deployment in combination with two Type 2 resistances. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 128, n. 9, p. 1725-1738, 2015.

BUSHNELL, W. R.; HAZEN, B. E.; PRITSCH. Histology and physiology of *Fusarium Head Blight*. In: LEORNARD, K. J.; BUSHNELL, W. R. (Ed.). **Fusarium head blight of wheat and barley**. St. Paul: APS Press, 2003. p. 44-83.

CABRAL, J.C.; ROSSI, A.A.B; KLEIN, M.E; VIEIRA, F.S; GIUSTINA, L.D. Estimativa da viabilidade polínica em acessos de *Theobroma cacao* L. baseada em testes calorimétricos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.9, n.17 p.2780, 2013. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20BIOLOGICAS/estimativa%20da%20viabilidade.pdf>>

CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P.L.; SILVA, M.S.; CASTRO, R.L. History of wheat cultivars released by Embrapa in forty years of research. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.14, n. 4, p. 216-223, 2014.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 256 p.

CAMARGO, C. E.; CAMARGO, C. R.; FELÍCIO, J. C.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; SANTOS, R. R.; DECOT, G. **Avaliação das características agronômicas e tecnológicas de genótipos de trigo duro, trigo comum e triticale**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993 (Boletim Científico), 29p.

CARDOSO, B.M. Análises citogenéticas em linhagens sintéticas de *Triticum aestivum* (*T. durum* X *T. tauschii*) e seus cruzamentos com cultivares de trigo, visando à

introgressão de resistência à ferrugem da folha. 2007. 99f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CARLETTO, R. **Características agronômicas e forrageiras de trigo duplo propósito submetido a sistemas de corte na cv. BRS Umbu**. 2013. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Centro-oeste, Guarapuava, Paraná, 2013.

CARVALHO, R.; SILVA, K. V. P.; OLIVEIRA, I. F.; ALVES, A. A. C. **CITOGENÉTICA COMO FERRAMENTA PARA O MELHORAMENTO GENÉTICO VEGETAL: Análise mitótica e meiótica em espécies de manihot**, 2009. Disponível em: <http://energia.fca.unesp.br/index.php/rat/article/view/1414/733>. Acesso em 18 de fevereiro de 2019.

CASA, R. T.; REIS, E. M.; BLUM, M. M. C.; BOGO, A.; SCHEER, O.; ZANATA, T. Danos causados pela infecção de *Gibberella zeae* em trigo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 289-293, 2004.

CEOLONI, C.; KUZMANOVIĆ, L.; FORTE, P.; VIRILI, ME.; BITTI, A. (2015) Wheat perennial Triticeae introgressions: major achievements and prospects. In: MOLNÁR-LÁNG, M.; CEOLONI, C.; DOLEŽEL, J. **Alien introgression in wheat—cytogenetics, molecular biology, and genomics**. Springer International Publishing Switzerland: Switzerland, 2015, p. 273–313.

CHAMPEIL, A.; DORÉ, T.; FOURBET, J. F. Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. **Plant Science**, v. 166, n. 6, p. 1389-1415, 2004.

CHEN, J.; GRIFFEY, C. A.; SAGHAIMAROOF, M. A.; STROMBERG, E.; BIYASHEV, R. M.; ZHAO, W.; CHAPPELL, M. R.; PRIDGEN, T. H.; DONG, Y.; ZENG, Z. Validation of two major quantitative trait loci for Fusarium head blight resistance in Chinese wheat line W14. **Plant Breeding**, v. 125, p. 99–101, 2006.

CHENG, S.; YI, X.; CHENG, J.; JIANG, Z.; HU, W.; BIE, T.; CHEN, S. Genetic analysis of Fusarium head blight resistance in CIMMYT bread wheat line C615 using traditional and conditional QTL mapping. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 573, 2018.

CLARK, A. J.; SARTI-DVORJAK, D.; BROWN-GUEDIRA, G.; DONG, Y.; BAIK, B.-K.; DAVID A. VAN, D. Identifying Rare FHB-Resistant Segregants in Intransigent Backcross and F₂ Winter Wheat Populations. **Frontiers of Microbiology**, v. 7, 2016.

COMEAU, A.; LANGEVIN, F.; CAETANO, V.; HABER, S.; SAVARD, M.; VOLDENG, H.; FEDAK, G.; DION, Y.; RIOUX, S.; GILBERT, J.; MARTIN, R.; EUDES, F.; SCHEEREN, P. A different path to the summit of Fusarium Head Blight

resistance in wheat: developing germplasm with a systemic approach. **Plant Breeding and Seed Science**, v. 63, p. 39-48, 2012.

CONAB. **A trajetória do trigo no Brasil e o seu papel nas relações comerciais e institucionais entre Brasil e Argentina**. v. 18, 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 23 de março de 2019.

CORRÊA, M.G.S.; VIÉGAS, J.; SILVA, J.B.; ÁVILA, P.F.V.; BUSATO, G.R.; LEMES, J.S. Meiose e viabilidade polínica na família Araceae. **Acta Botânica Brasilica**, v.19, n.2, p. 295-303, 2005.

COVARELLI, L.; BECCARI, G.; PRODI, A.; GENEROTTI, S.; ETRUSCHI, F.; JUAN, C.; FERRER, E.; MAÑES, J. Fusarium species, chemotype characterization and trichothecene contamination of durum and soft wheat in an area of central Italy. **Journal Science Food Agriculture**, v. 95, n. 3, p. 540–551, 2014.

CARVALHO, F.; SILVA, S.; KUREK, A.; BARBIERI, R.; CARGNIN, A. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. **Agrociência**, v.9, n.1, p.05-08, 2004.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Lavras: Editora UFV, 2006.

CUNHA, G. R.; CAIERÃO, E.; ROSA, A. C. Informações técnicas para trigo e triticale–safra 2016/9ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de trigo e triticale. Passo Fundo, RS: Biotrigo Genética, 2016. 228p. 2017.

DAFINI, A. **Pollination ecology: a practical approach (the practical approach series)**. New York, Oxford: University press, 1992.

DALLA NORA, T.; FRANCO, F. A.; CANTERI, M. G. Progresso no melhoramento genético de trigo visando a resistência a giberela. In: REIS, E. M. **Coletânea de Trabalhos**. Passo Fundo: Berthier, 2011. p.185-198.

DAMASCENO JUNIOR, P. C.; PEREIRA, T. N. S.; FREITAS-NETO, M.; PEREIRA, M. G. Meiotic behavior of *Carica papaya* and *Vasconcellea monoica*. **Caryologia**, v. 63, p. 229-236, 2010.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed. 2006.

DEAN, R.; VAN KAN, J. A.; PRETORIUS, Z. A.; HAMMOND-KOSACK, K. E.; DI PIETRO, A.; SPANU, P. D.; RUDD, J. J.; DICKMAN, M.; KAHMANN, R.; ELLIS, J. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, n. 7, p. 414- 430, 2012.

DEL PONTE, E. M.; FERNANDES, J. M. C.; PIEROBOM, C. R.; BERGSTROM, G. C. Giberela do trigo-aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 6, p. 587-605, 2004.

DEUNER, C. C.; VIANA, E.; CAMERA, J. N.; REIS, E. M. Resistência de cultivares de trigo à giberela mediante inoculação artificial em espiguetas. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 3, p. 202-206, 2015.

DHALIWAL, H. S.; SINGH, H.; GILL, K. S.; RANDHAWA, H. S. Evaluation and cataloguing of wheat germplasm for disease resistance and quality. In: DAMANIA, A. B. **Biodiversity and wheat improvement**. A Wiley-Savce Publication, 1993, p. 9123-140.

DIEGUES, I. P.; JUNIOR, P. C. D.; RIBEIRO, N. V. da S.; REIS, M. V. M.; ABBOUD, A. C. de S. Comportamento meiótico e viabilidade polínica na espécie *Jatropha curcas* L. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 141-150, 2015.

DUNCKEL, S.; CROSSA, J.; WU, S.; BONNETT, D.; POLAND, J. Genomic selection for increased yield in synthetic-derived wheat. **Crop Science**, v. 57, n. 2, p. 713-725, 2017.

DWEBA, C. C.; FIGLAN, S.; SHIMELIS, H. A.; MOTAUNG, T. E.; SYDENHAM, S.; MWADZINGENIA, L.; TSILO, T. J. *Fusarium head blight* of wheat: Pathogenesis and control strategies. **Crop Protection**, v. 91, p. 114-122, 2017.

ELBASHIR, A. A. E.; GORAFI, Y. S. A. G.; TAHIR, I. S. A.; KIM, J. S.; TSUJIMOTO, H. Wheat multiple synthetic derivatives: a new source for heat stress tolerance adaptive traits. **Breeding Science** v. 67, n. 3, p. 248–256, 2017.

EMBRAPA TRIGO, Impactos da variabilidade climática extrema na safra de trigo de 2015 no Sul do Brasil. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355291/1729833/NTTrigo+e+anomalias+climaticas-safra+2015.pdf/158b138c-0917-4169-90ce-3e834858ed24>. Acesso em 03 de fevereiro de 2016.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F. Germoplasma e melhoramento genético do maracujazeiro – desafios da pesquisa In: FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; BRAGA, M.F. (Eds.) **Maracujá: germoplasma e melhoramento genético**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p. 187-210, 2005.

FARIAS, G. J. Retrocruzamento visando o melhoramento de caracteres quantitativos em soja / Piracicaba, 2013. 141 p: il. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2013.

FEHR, W. R. **Principles of cultivars development**. New York: Macmillan, 1987. 536p.

FOLONI, J. S. S.; BASSOI, M. C.; TAVARES, L. C. V.; MORAES, L. A. C. Densidade de semeadura e população inicial de plantas para cultivares de trigo em ambientes distintos do Paraná. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 6., 2012, Londrina.[Anais...]. Londrina: IAPAR, 2012. 5 p. Trabalho 141-1. 1 CD-ROM.

FRESCURA, V. D. S.; LAUGHINGHOUSE, I. V.; CANTO-DOROW, T. S.; TEDESCO, S. B. Pollen viability of *Polygala paniculata* L. (Polygalaceae) using different staining methods. **Biocell**, v. 36, n.3, p.143-145, 2012.

FRIZON, P. **Caracterização de trigo sintético à giberela (*Gibberella zeae*) (schw.) petch, índice meiótico e diversidade genética**. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2016.

FRIZON, P., BRAMMER, S. P., LIMA, M. I. P. M., CASTRO, R. L. D., DEUNER, C. C. Genetic stability in synthetic wheat accessions: cytogenetic evaluation as a support in breeding programs. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p. 1-7, 2017.

GADIMALIYEVA, G.; AMINOV, N.; JAHANGIROV, A.; HAMIDOV, H.; ABUGALIEVA, A.; SHAMANIN, V.; MORGOUNOV, A. Productivity and disease resistance of primary hexaploid synthetic wheat lines and their crosses with bread wheat. **Cereal Research Communications**, v. 46, n. 2, p. 355-364, 2018.

GERVAIS, L. F.; DEDRYVER, J. Y.; MORLAIS, V.; BODUSSEAU, S.; NEGRE, M. BILOUS, C.; GROOS, M.; TROTTE. Mapping of quantitative trait loci for field resistance to Fusarium head blight in an European winter wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 106, n. 6, p. 961-970, 2003.

GHORBANI, F.; ARZANI, A.; POURSIABIDI, M. M. Meiotic instability in *Aegilops cylindrica*: a comparison with stable meiosis in *Triticum monococcum* subsp. aegilopoides. **Caryologia**, v. 68, n. 2, p. 101-108, 2015.

GIANCASPRO, A.; GIOVE, S. L.; ZITO, D.; BLANCO, A.; GADALETA, A. Mapping QTLs for Fusarium head blight resistance in an interspecific wheat population. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 1381, 2016.

GILL, T. A.; LI, J.; SAENGER, M.; SCOFIELD, S. R. Thymol-based submicron emulsions exhibit antifungal activity against *Fusarium graminearum* and inhibit

Fusarium head blight (FHB) in wheat. **Journal of Applied Microbiology**, n. 4, v. 121 p. 1103–1116, 2016.

GRABOWSKI A.; SIUDA R.; LENC L.; JAROSZUK-SCISET J. Effect of the degree of fusariosis on the physical characteristics of individual wheat kernels. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1122-1129, 2012.

GRAFIUS, J.E. Components of yield in oats. **Agronomy Journal**, v.48, p.419-423, 1956.

GUIMARÃES, C. T.; SCHUSTER, I.; MAGALHÃES, J. V.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Marcadores moleculares no melhoramento. In: BORÉM, A.; CAIXETA, E. T. **Marcadores moleculares**. 2. ed. Viçosa: Folha de Viçosa, 2009. p. 129-175.

GUNUPURU, L. R.; PEROCHON, A.; DOOHAN, F. M. Deoxynivalenol resistance as a component of FHB resistance. **Tropical Plant Pathology**, v. 42, n. 3, p. 175-183, 2017.

HAJJAR, R.; HODGKIN, T. The use of wild relative in crop improvement: a survey of developments over the last 20 years. **Euphytica**, v.156, p. 1 – 13, 2007.

HALL, M. **Genetic variation for Fusarium head blight resistance in soft red winter wheat**. MS Thesis. University of Kentucky. 160 p, 2002.

HALL, M.; VAN SANFORD, D. A. Diallel analysis of Fusarium Head Blight Resistance in Soft Red Winter Wheat. **Crop Science**, v. 43, p. 1663-1670, 2003.

HANIF, U.; RASHEED, A.; KAZI, A.G.; AFZAL, F.; KHALID, M., 25 MUNIR, M.; MUJEEB-KAZI, A. Analysis of Genetic Diversity in Synthetic Wheat Assemblage (*T. turgidum* × *Aegilops tauschii*; 2n=6x=42; AABBDD) for Winter Wheat Breeding. **Cytologia**, v. 79, p. 485–500, 2014.

HARTEL, K. D.; BERZONSKY, W. A.; KIANIAN, S.; ALI, S. Expression of a *Triticum turgidum* var. dicoccoides source of Fusarium head blight resistance transferred to synthetic hexaploid wheat. **Plant Breeding**, v. 123, n. 6, p. 516-519, 2004.

HE, X. Y.; SINGH, P. K.; DUVEILLER, E.; DREISIGACKER, S.; SINGH, R. P. (2013). Development and characterization of international maize and wheat improvement center (CIMMYT) germplasm for Fusarium head blight resistance. In: ALCONADA MAGLIANO, T. and CHULZE, S. **Fusarium Head Blight in Latin America** (eds) (Dordrecht: Springer), p. 241–262, 2013.

HEDDLE, J. A. A rapid in vitro test for chromosomal damage. **Mutation Research**, v. 18, n. 2, p. 187-190, 1973.

JAFARZADEH, J.; BONNETT, D.; JANNINK, J. L.; AKDEMIR, D., DREISIGACKER, S.; SORRELLS, M. E. Breeding value of primary synthetic wheat genotypes for grain yield, **PLoS One**, v. 11, n. 9, p. 62-86, 2016.

JIGHLY, A., ALAGU, M., MAKDIS, F., SINGH, M., SINGH, S., EMEBIRI, L. C., & OGBONNAYA, F. C. Genomic regions conferring resistance to multiple fungal pathogens in synthetic hexaploid wheat. **Molecular breeding**, v. 36, n. 9, p. 127, 2016.

JUROSZEK, P.; VON TIEDEMANN, A. Linking Plant Disease Models to Climate Change Scenarios to Project Future Risks of Crop Diseases: A Review. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 122, n. 1, p. 3–15, 2015.

KARAGÖZ, A.; ZENCIRCI, N. Variation in wheat (*Triticum* spp.) landraces from different altitudes of three regions of Turkey. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.52, n. 6, p. 775-785, 2005.

KARAKAYA, D. Effects of inflorescence on pollen viability and morphology of strawberry (*Fragaria vesca* L.). **Journal of Science and Technology**, v. 1, p: 43-47, 2011.

KEARS, C. A.; INOUE, D. W. Techniques for pollination biologists. Niwot: University Press of Colorado, 1993.

KELLY, J. K.; RASCH, A.; KALISZ, S. A method to estimate pollen viability from pollen size variation. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 6, p.1021-1023, 2002.

KHALEDI, N.; TAHERI, P.; TARIGHI, S. Antifungal activity of various essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina* as major bean pathogens. **Journal of Applied Microbiology**, n. 3, v. 118, p. 704–717, 2015.

KHAN, S. A.; PERVEEN, A. Germination capacity of stored pollen of *Abelmoschus esculentus* L. (Malvaceae) and their maintenance. **Pakistan Journal of Botany**, v. 38, p. 233-236, 2006.

KIHARA H Discovery of the DD-analyser, one of the ancestors of *Triticum vulgare*. **Agricultura Horticola**, v. 19 p. 13–14, 1944.

LARGE, E. C. Growth stage in cereals: illustration of the Feekes scale. **Plant Pathology**, v. 3, n.4, p. 128-129, 1954.

LAZAR, M. D.; WORRALL, W. D.; PETERSON, G. L.; PORTER, K. B.; ROONEY, L. W.; THULEEN, N. A. Registration of ‘TAM 110’ wheat. **Crop science**, v. 44, n. 1, p. 355-357, 2004.

LENC, L.; CZECHOLIŃSKI, G.; WYCZLING D.; TURÓW, T.; KAŻMIERCZAK, A. Fusarium head blight (FHB) and Fusarium spp. on grain of spring wheat cultivars grown in Poland. **Journal of Plant Protection Research**, v. 55, p. 266–277, 2015.

LIMA, M. I. P. M. Determinação da resistência de cultivares de trigo à giberela. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29. p. 1-19, 2004.

LIMA, M. I. P. M. Giberela ou brusone? orientações para a identificação correta dessas enfermidades em trigo e em cevada. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 56 p. (Embrapa Trigo. Documentos online, 40). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do40.htm>. Acesso: 12 de janeiro de 2016.

LIMA, M. I. P. M.; FERNANDES, J. M. C.; PICININI, E. C. **Escalonamento da época de semeadura de trigo e uso de cultivares de ciclos reprodutivos diferentes como medida de controle de giberela**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 5 p. html. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico online, 92). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co92.htm>. Acesso: 10 de fevereiro de 2016.

LIMA, V. L. A.; SEKI, H. A.; RUMJANEK, F. D. Microsatellite polymorphism in wheat from Brazilian cultivars; inter- and intravarietal studies. **Genetics and Molecular Biology**, v. 26, n. 3, p.349- 353, 2003.

LIU, Z.; LI, D. Y.; ZHANG, X. Y. Genetic relationships among five basic genomes St, E, A, B and D in Triticeae revealed by genomic southern and in situ hybridization. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 49, n. 7, p. 1080-1086, 2007.

LORENCETTI, C.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; VALÉRIO, I. P.; HARTWIG, I.; MARCHIORO, V. S.; VIEIRA, E. A. Retrocruzamento como uma estratégia de identificar genótipos e desenvolver populações segregantes promissoras em aveia. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1118-1125, 2006.

LOVE, R. M. Varietal differences in meiotic chromosomes behavior of Brazilian wheats. **Agronomy Journal**, v. 43, p. 72-76, 1951.

LOVE, R.M. La citología como ayuda práctica al mejoramiento de los cereales. **Revista Argentina Agronômica**, v.1, n. 16, p.1-13, 1949. MAJER, B. J.; LAKY, B.; KNASMÜLLER, S.; KASSIE, F. Use of the Micronucleus Assay with Exfoliated Epithelial Cells as a Biomarker for Monitoring Individuals at Elevated Risk of Genetic Damage and in Chemoprevention Trials. **Mutation Research**, v. 489, p. 147-172, 2001.

MAJER, B. J.; LAKY, B.; KNASMÜLLER, S.; KASSIE, F. Use of the Micronucleus Assay with Exfoliated Epithelial Cells as a Biomarker for Monitoring Individuals at Elevated Risk of Genetic Damage and in Chemoprevention Trials. **Mutation Research**, v. 489, n. 2-3, p. 147-172, 2001.

MAO, S. L.; WEI, Y. M.; CAO, W.; LAN, X. J.; YU, M.; CHEN, Z. M.; ZHENG, Y. L. Confirmation of the relationship between plant height and Fusarium head blight resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by QTL meta-analysis. **Euphytica**, v. 174, n. 3, p. 343-356, 2010.

MARCHIORO, V. S.; de ASSIS FRANCO, F.; DALLA NORA, T.; de OLIVEIRA, E, F., SCHUSTER, I.; VIEIRA, E. S. N.; EVANGELISTA, A. CD 117: nova cultivar de trigo de ampla adaptação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 424-426, 2010.

MARCHIORO, V. S.; FRANCO, F. de A. Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2011. In: **IV Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Cascavel**: COODETEC. Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2010. 170 p.

MARKELL, S. G.; FRANCL, L. J. Fusarium Head Blight Inoculum: Species Prevalence and *Gibberella zeae* Spore Type. **Plant Disease**, v. 87, n.7, p. 814–820, 2003.

MARTIN, C.; SCHOENEBERG, T.; VOGELGSANG, S.; VINCENTI, J.; BERTOSSA, M.; MASCHER, F. Factors of wheat grain resistance to Fusarium head blight. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 56, n. 1, p. 154-166, 2017.

MARTINS, K. C. Palinologia de *Capsicum* spp.: Caracterização, divergência genética e viabilidade polínica. 112f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Curso de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MARTINS, K.C.; PEREIRA, T.N.S.; SOUZA, S.A.M.; COSTA, F.R. Meiose e viabilidade polínica em acessos de *Capsicum annuum* e *Capsicum baccatum* **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1746 -1751, 2010

MCCARTNEY, C. A.; SOMERS, D. J.; FEDAK, G.; CAO, W. 2004. Haplotype diversity at Fusarium head blight resistance QTLs in wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 109, n. 2, p. 261-271, 2004.

MCFADDEN, E. S.; SEARS, E. R. The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploid relatives. **Journal of Heredity**, v. 37, n. 3, p. 81-89, 1946.

MCMULLEN, M.; BERGSTROM, G.; DE WOLF, E.; DILL-MACKY, R.; HERSHMAN, D.; SHANER, G.; VAN SANFORD, D. A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: Fusarium head blight. **Plant Disease**, v. 96, n. 12, p. 1712-1728, 2012.

- McMULLEN, M.; JONES, R.; GALLENBERG, D. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. **Plant Disease**, v. 81. p. 1340-1348. 1997.
- McMULLEN, M.; STACK, R. W. **Fusarium Head blight (scab) of small grains**. Fargo: North Dakota State University, 1994.
- MENDES, G. D. R. L.; PONTE, E. M. D.; FELTRIN, A. C.; BADIALE-FURLONG, E.; OLIVEIRA, A. C. D. Common resistance to *Fusarium head blight* in Brazilian wheat cultivars. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 5, p. 426-431, 2018.
- MENDES-BONATA, A. B. Chromosome number and meiotic behavior in *Brachiaria jubata* (Gramineae). **Journal of Genetics**, v. 85, n.1, p. 83–87, 2006.
- MENDES-BONATA, A. B.; PASCOTTO, C. R.; PAGLIARINI, M. S; VALLE, C. B. Chromosome number and meiotic behaviour in *Brachiaria jubata* (Gramineae). **Journal of Genetic**, v. 85, p. 83–87, 2006.
- MESTERHÁZY Á. Chemical control of Fusarium head blight of wheat. p. 232–247. In: “Mycotoxin Reduction in Grain Chains” (J.F. Leslie, A.F. Logrieco, eds), 2014.
- MESTERHÁZY, A. Types and components of resistance to Fusarium head blight of wheat. **Plant Breeding**, v. 114, n.5 p. 377-386, 1995.
- MESTERHÁZY, Á.; BARTÓK, T.; MIROCHA, C. G.; KOMOROCZY, R. Nature of wheat resistance to Fusarium head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. **Plant breeding**, v. 118, n. 2, p. 97-110, 1999.
- MICHEREFF, S. J. **Controle genético de doenças de plantas**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242580646_CONTROLE_GENETICO_DE_DOENCAS_DE_PLANTAS. Acesso em: 10 de janeiro de 2018.
- MIEDANER, T.; WILDER, F.; STEINER, B.; BUERSTMAYER, H.; KORZUM, V.; EBMEYER, E. Stacking quantitative trait loci (QTL) for Fusarium head blight resistance from non-adapted sources in an European elite spring wheat background and assessing their effects on deoxynivalenol (DON) content and disease severity. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 112, n. 3, p. 562-569, 2006.
- MOLNÁR-LÁNG, M.; CEOLONI, C.; DOLEŽEL, J. (Ed.). **Alien introgression in wheat: cytogenetics, molecular biology, and genomics**. Springer, 2015.
- MONDAL, S.; GHANTA, R. Effect of sucrose and boric acid on in vitro pollen germination of *Solanum macranthum* Dunal. **Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences**, v. 2, p. 202-206, 2012.

MORAES-FERNANDES, M. I. B.; ZANATTA, A. C. A.; PRESTES, A. M.; CAETANO, V. R.; BARCELLOS, A. L.; ANGRA, D. C.; PANDOLFI, V. Cytogenetics and immature culture embryo at Embrapa Trigo breeding program: transfer of disease from related species by artificial resynthesis of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell). **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, p. 1051- 1062, 2000.

MUJEEB-KAZI, A.; DELGADO, R.; CORTES, A.; CANO, S.; ROSAS, V.; SANCHEZ, J. Progress in exploiting *Aegilops tauschii* for wheat improvement. **Annual Wheat Newsletter**, v. 50, p. 79-88, 2004.

MUJEEB-KAZI, A.; DELGADO, R.; JUÁREZ, L.; CANO, S. **Scab resistance (Type II: spread) in synthetic hexaploid germ plasm**. 2001.

MUJEEB-KAZI, A.; GUL, A.; FAROOQ, M.; RIZWAN, S.; AHMAD, I. Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement. **Australian Journal of Agricultural Research**. v. 59, p. 391–398, 2008.

MUJEEB-KAZI, A.; KIMBER, G. The production, cytology and practicality of wide hybrids in Triticeae. **Cereal Research Communications**, v. 13, p.111-124, 1985.

MUNHOZ, M.; LUZ, C.F.P.; MEISSNER FILHO, P.E.; BARTH, O.M.; REINERT, F. Viabilidade polínica de *Carica papaya*L.: uma comparação metodológica. **Revista Brasileira de Botânica**, v.31, n.2, p.209-214, 2008.

NETO, A. A. de O.; SANTOS, C. M. R. **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218 p. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2018

NIELSEN, L. K.; JENSEN, J. D.; NIELSEN, G. C.; JENSEN, J. E.; SPLIID, N. H.; THOMSEN, I. K.; JUSTESEN, A. F.; COLLINGE, D. B.; JØRGENSEN, L. N. 2011. Fusarium head blight of cereals in Denmark: species complex and related mycotoxins. **Phytopathology Journal**, n. 8, v.101, p. 960-9, 2011.

NOVÁK, F.; BETLACH, J. Meiotic irregularities in pollen sterile sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). **Cytologia**, v. 35, n.3, p. 335–343, 1970.

O'DONNELL, K.; WARD, T. J.; GEISER, D. M.; KISTLER, H. C.; AOKI, T., Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the *Fusarium graminearum*. **Fungal Genetics and Biology**, v. 41, p. 600-623, 2004.

OGBONNAYA FC, ABDALLA O, MUJEEB-KAZI A, KAZI AG, XU SS, GOSMAN OGBONNAYA, F. C. Development, management and utilization of synthetic hexaploids in wheat improvement. **The world wheat book: a history of wheat breeding**, v. 2, p. 823-849, 2011.

OGBONNAYA, F. C.; ABDALLA, O.; MUJEEB-KAZI, A.; KAZI, A. G.; XU, S. S.; GOSMAN, N. Synthetic hexaploids: harnessing species of the primary gene pool for wheat improvement. **Plant Breeding**, v. 37, p.35–122, 2013.

OGBONNAYA, F. C.; YE, G.; TRETOWAN, R.; DRECCER, F.; LUSH, D.; SHEPPERD, J.; VAN GINKEL, M. Yield of synthetic backcross-derived lines in rainfed environments of Australia. **Euphytica**, v. 157, n. 3, p. 321-336, 2007.

OLIVEIRA, M. do S.; PADILHA, M.M.M.; KALUME, M.A. de A. Viabilidade de pólen in vivo e in vitro em genótipos de açazeiro. **Acta Botanica Brasílica**, v.15, n.1, p.27-33, 2001.

OLIVEIRA, A. G. de; CLEAVER, A. J. T.; EMPERAIRE, L.; KAGEYAMA, P. Y.; STELLA, A. Encontro nacional sobre agrobiodiversidade e diversidade cultural. In: **Agrobiodiversidade e diversidade cultural**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 82p, 2006.

OLIVEIRA, L. B. P. de; PIERRE, P. M. O. Índice meiótico e palinologia de cerejeira-domato (*Eugenia involucrata* DC-Myrtaceae). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, p. 481-490, 2018.

OMIDI, M.; SIAHPOOSH, M. R.; MAMGHANI, R.; MODARRESI, M. The Influence of Terminal Heat Stress on Meiosis Abnormalities in Pollen Mother Cells of Wheat. **Cytologia**, Tokyo, v. 79, n.1, p. 49–58, 2014.

ORTIZ, R.; BRAUN, H. J.; CROSSA, J.; CROUCH, J. H.; DAVENPORT, G.; DIXON, J.; JOSHI, A. K. Wheat genetic resources enhancement by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, n. 7, p. 1095-1140, 2008.

OSMAN, M.; HE, X.; SINGH, R. P.; DUVEILLER, E.; LILLEMO, M.; PEREYRA, S. A.; WESTERDIJK-HOKS, I.; KURUSHIMA, M.; YAU, S-K.; BENEDETTELLI, S.; SINGH, P. K. Phenotypic and genotypic characterization of CIMMYT's 15th international Fusarium head blight screening nursery of wheat. **Euphytica**, v. 205, p. 521–537, 2015.

PACINI, E.; GUARNIERI, M.; NEPI, M. Pollen carbohydrates and water content during development, presentation, and dispersal: a short review. **Protoplasma**, v. 228, n. 1-3, p. 73, 2006.

PAGLIARINI, M. Q. S. Meiotic behavior of economically important plant species: the relationship between fertility and male sterility. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, p. 997 – 1002, 2000.

PAGLIARINI, M. S.; POZZOBON, M. T. II Curso de citogenética aplicada a recursos genéticos vegetais. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia – DF, 2004.

PAGLIARINI, M. S.; POZZOBON, T. Meiose em vegetais: um enfoque para a caracterização de germoplasma. In: curso de genética aplicado a recursos vegetais , 2. Documentos, Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-DF, p.24-41, 2004.

PAILLARD, S. T.; SCHNURBUSCH, R.; TIWARI, M; MESSMER, M.; WINZELER, B.; Keller, B.; SCHACHERMAYR, G. QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in Swiss winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 109, n. 2, p. 323-332, 2004.

PARRY, D. W.; JENKINSON, P.; McLEOD, L. Fusarium head blight (SCAB) in small grain cereals – a review. **Plant Pathology**, v. 44, p. 207- 238, 1995.

PEREIRA, H. S.; SANTOS, J. B.; ABREU, A. F. B.; COUTO, K. R. Informações fenotípicas e marcadores microssatélites de QTL na escolha de populações segregantes de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p.707-713, 2007.

PESTKA, J. J. Deoxynivalenol: mechanisms of action, human exposure, and toxicological relevance. **Archives of toxicology**, v. 84, n. 9, p. 663-679, 2010.

PIMENTEL, A. J. B.; RIBEIRO, G.; SOUZA, M. A. de; MOURA, L. M.; ASSIS, J. C. de; MACHADO, J. C. Comparação de métodos de seleção de genitores e populações segregantes aplicados ao melhoramento de trigo. **Bragantia**, v. 72, p. 113-121, 2013a

POÇAS, M. E. P. **Palinologia**. Disponível em <[http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/577/16/Cap%20I V.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/577/16/Cap%20I%20V.pdf)>. Acesso em: 16 de março de 2019.

POZZOBON, M. T.; de BEM BIANCHETTI, L.; SANTOS, S. dos; CARVALHO, S. I. C. de; REIFSCHNEIDER, F. J. B.; da COSTA RIBEIRO, C. S. Comportamento meiótico em acessos de Capsicum chinense Jacq. do Banco de Germoplasma da Embrapa, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 2, 2015.

POZZOBON, M. T.; SOUZA, K. R. R.; CARVALHO, S. I. C.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Meiose e viabilidade polínica em linhagens avançadas de pimenta. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 212-216, 2011.

PRASAD, P. V. V.; PISIPATI, S. R.; MUTAVA, R. N.; TUINSTRA, M. R. (2008) Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress during reproductive development. **Crop Science**, v. 48, p. 1911–1917, 2008.

PRITSCH, C.; MUEHLBAUER, G. J.; BUSHNELL, W. R.; SOMERS, D. A.; VANCE, C. P. Fungal development and induction of defense response genes using early infection

of wheat spikes by *Fusarium graminearum*. **Molecular Plant Microbe Interactions**, v. 13, p. 159-169, 2000.

PUMPHREY, M. O.; BERNARDO, R.; ANDERSON, J. A., 2007. Validating the *Fhb1* QTL for Fusarium head blight resistance in near-isogenic wheat lines developed from breeding populations. **Crop Science**. v. 47, p. 200–206, 2007.

RASHEED, A.; T. MAHMOOD, A.; GUL-KAZI, A.; GHAFOOR, A.; MUJEEB-KAZI, A. Allelic variation and composition of HMW-GS in advanced derivatives from D-genome synthetic hexaploid × Bread wheat cross combinations. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 15, p.1-7, 2012.

REIS, E. M. **Doenças do trigo III: giberela**. 2. ed. São Paulo: [s. n.], 1988a.

REIS, E. M. Quantificação de propágulos de *Gibberella zeae* no ar através de armadilhas de esporos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 13. n. 4. p. 324-327, 1988.

REIS, E. M. **Seminário sobre giberela em cereais de inverno**. Coletânea de Trabalhos. Passo Fundo: Berthier, 2011.

REIS, E. M.; BLUM, M. M. C.; CASA, R. T. Controle químico de *Gibberella zeae* em trigo, um problema de deposição de fungicidas em anteras. **Summa Phytopathologica**, v. 22, n. 1, 1996.

REIS, E. M.; CASAR. T. **Doenças dos Cereais de inverno: diagnose, epidemiologia e controle**. 2. ed. Lages: Graphel, 2007.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. I.; M'RANI-ALAOUI, M.; FERNÁNDEZ, M. C. Behavior of storage lipids during development and germination of olive (*Olea europaea* L.) pollen. **Protoplasma**, v. 221, n. 3-4, p. 237-244, 2003.

ROSA, P. S.; CORRÊA, M. G. S.; NASCIMENTO, A. J.; BRAMMER, S. P.; VIÉGAS, J. Análise de tétrades e grãos de pólen em triticales hexaplóide. Pelotas: UFPel, 2006.

RUDD, J. C.; DEVKOTA, R. N.; BAKER, J. A.; PETERSON, G. L.; LAZAR, M. D.; BEAN, B. 'TAM 112' wheat, resistant to greenbug and wheat curl mite and adapted to the dryland production system in the southern high plains. **Journal of Plant Registrations**, v. 8, n. 3, p. 291-297, 2014.

RUDD, J. C.; HORSLEY, R. D.; MCKENDRY, A. L.; ELIAS, E. M. Host plant resistance genes for Fusarium Head Blight: Sources, Mechanisms and Utility in Conventional Breeding. **Crop Science**, v. 41, n. 3, p. 620-627, 2001.

SANTOS, T. A dos; TIAGO, P. V.; SCHMITT, K. F. M.; MARTINS, K. C.; ROSSI, A. A. B. Viabilidade polínica em *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) baseada em diferentes testes colorimétricos. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n. 22, 2015.

SCARIOT, G. **Caracterização morfológica, citogenética e molecular em cultivares de trigo**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2016.

SCHLEGEL, R. H. J. **Dictionary of plant breeding**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

SCHMALE, A. G.; POLYTECHNIC, V. Giberela ou fusariose da espiga do trigo Disponível em: <<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/FusariumPort.aspx>> Acesso em 01 de março de 2016.

SCHNEIDER, A., MOLNAR, L. AND LANG, M. Utilisation of *Aegilops* (goat grass) species to widen the genetic diversity of cultivated wheat. **Euphytica**, v. 163, p.1–19, 2008.

SHARMA, P.; SAREEN, S.; SAINI, M.; VERMA, A.; TYAGI, B. S.; SHARMA, I. Assessing genetic variation for heat tolerance in synthetic wheat lines using phenotypic data and molecular markers. **Australian Journal Crop Science**, v. p. 515–522, 2014.

SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; SILVA, M.; BONOW, S. **Melhoramento de trigo no Brasil** In: Trigo no Brasil. In: SCHEEREN, P. L., CAIERAO, E., SILVA, M. So e, BONOW, S. (Org.). Melhoramento de trigo no Brasil. 1ªed.Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011, v. 01, p. 427-452.

SHIN, S.; KIM, K.H.; KANG, C.S.; CHO, K.M.; PARK, C.S.; OKAGAKI, R.; PARK, J.C. 2014. A simple method for the assessment of fusarium head blight resistance in Korean wheat seedlings inoculated with *Fusarium graminearum*. **The Plant Pathology Journal**, v. 30, n. 1, p. 25–32, 2014.

SHIVANNA, K. R.; LINSKENS, H. F.; CRESTI, M. Pollen viability and pollen vigor. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 81, p.38–42, 1991.

SHIVANNA, K. R.; RANGASWAMY, N. S. **Pollen biology. A laboratory manual**. Berlin/New York: Springer, 210 p., 1992.

SHOPOVA, M. Studies in the genus *Capsicum*. II. Irregularities in the pollen mother cells. **Chromosoma**, v.19, n.3, p.349-356, 1966.

SHPILER, L; BLUM, A. Heat tolerance to yield and its components in different wheat cultivars. **Euphytica**, v. 51, p. 257–263, 1991.

SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F.; CAETANO, V. R.; OLIVEIRA, A. C.; COIMBRA, J. L. M.; VASCONCELLOS, N. J. S.; LORENCETTI, C. Genetic basis of stay-green trait in bread wheat. **Journal of New Seeds**, v. 2, n. 1, p. 55-68, 2000.

SILVA, D. F.; PIO, R.; NOGUEIRA, P. V.; DE OLIVEIRA SILVA, P. A.; FIGUEIREDO, A. L. Viabilidade polínica e quantificação de grãos de pólen em espécies de fisális. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 365-373, 2017.

SIUDA, R.; GRABOWSKI, A.; LENC, L.; RALCEWICZ, M.; SPYCHAJ-FABISIAK, E. Influence of the degree of fusariosis on technological traits of wheat grain. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 12, p. 2596–2604, 2010.

SKOVMAND, B.; RAJARAM, S.; RIBAUT, J. M.; HEDE, A. R. Wheat genetic resources. In: CURTIS, B. C.; RAJARAM, S.; MACPHERSON, H. G. **Bread wheat: improvement and production**. 1ª ed. FAO: 2002. p. 89-101.

SLEPER, D. A.; POEHLMAN, J. M. **Breeding field crops**. 1 ed. Iowa: Ames, 2006. 424 p.

SOARES, T. L.; SOUZA, E. H. D.; ROSSI, M. L.; SOUZA, F. V. D. Morfologia e viabilidade de grãos de pólen de acessos silvestres de abacaxi. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10, p. 1744-1749, 2011.

SOUZA M. M.; PEREIRA, T. N. S.; MARTINS, E. R. Microsporogênese e microgametogênese associadas ao tamanho do botão floral e da antera e viabilidade polínica em maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* degener). **Ciência Agrotécnica**, v. 26, n. 6, p.1209-1217, nov./dez., 2002.

SOUZA, M.M.; PEREIRA, T.N.S; MARTINS, E. R. Microsporogênese e microgametogênese associadas ao tamanho do botão floral e da antera, e viabilidade polínica em maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 6, p. 1209-1217, 2002.

SOUZA, M. M.; PEREIRA, T. N. S.; VIEIRA, M. L. C. (2008) Cytogenetic studies in some species of *Passiflora* L. (*Passifloraceae*): a review emphasizing Brazilian species. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. V. 51, n. 2, p. 247 – 258, 2008.

STALKER, H. T. Utilization of wild species for crop improvement. **Advances in Agronomy**, v. 33, p.111-47, 1980.

STEINER, B. M.; LEMMENS, M.; GRIESSER, U.; SCHOLZ, J.; SCHONDELMAIER, H.; BUERSTMAYR, H. Molecular mapping of resistance to *Fusarium* head blight in the spring wheat cultivar Frontana. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 109, n. 1, p. 215-224, 2004.

STONE, P. J.; NICOLAS, M. E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 21, p. 887–900, 1998.

SZABO-HEVER, A.; ZHANG, Q.; FRIESEN, T. L.; ZHONG, S.; ELIAS, E. M.; CAI, X.; XU, S. S. Genetic diversity and resistance to Fusarium head blight in synthetic hexaploid wheat derived from *Aegilops tauschii* and diverse *Triticum turgidum* subspecies. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 1829, 2018.

TECHIO, V. H.; DAVIDE, L. C.; PEDROZO, C. A.; PEREIRA, A. V. Viabilidade do grão de pólen de acessos de capim-elefante, milho e híbridos interespecíficos (capim-elefante x milho). **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 28, n. 1, p.7-12, 2006.

TIAN, Y.; TAN, Y.; LIU, N.; LIAO, Y.; SUN, C.; WANG, S.; WU, A. Functional agents to biologically control deoxynivalenol. **Frontiers in microbiology**, v. 7, p. 395, 2016.

TIAN, Z.; JING, Q.; DAI, T.; JIANG, D.; CAO, W. Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River Basin of China. **Field Crops Research**, v. 124, p. 417–425, 2011.

TONIAZZO, C.; BRAMMER, S. P.; CARGNIN, A.; WIETHÖLTER, P. Ocorrência demicronúcleos e inferência da instabilidade genética em acessos de trigos sintéticos. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento online**, 18p, 2018. Acessado em: 18 de março de 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177641/1/ID44329-2017BPDO88.pdf>

TRETHOWAN R. M.; VAN GINKEL M., 2009. Synthetic wheat – an emerging genetic resource. In: CARVER, B. **Wheat - Science and Trade**, USA: Ames, 2000. p. 369-386.

URIO, E. A. **Caracterização citogenética clássica e molecular de trigos brasileiros 2013**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2013.

VAN DER LEE, T.; ZHANG, H.; VAN DIEPENINGEN, A.; WAALWIJK, C., **Biogeography**, v. 32, n.4, p. 453- 460, 2015.

VAN GINKEL, M.; OGBONNAYA, F. Novel genetic diversity from synthetic wheats in breeding cultivars for changing production conditions. **Field Crops Research**, v. 104, n. 1-3, p. 86-94, 2007.

VARGAS, D.P.; VIANNA, R.A.; SILVA, S.D.A.; SOUZA, S.A.M.; CATTELAN, L.; BOBROWSKI, V.L. **Viabilidade polínica de *Ricinus communis* var. IAC-80**, Cafelista,

Al-Preta e Al-Guarani. 2005. Disponível em: <Disponível em:http://www.ufpel.edu.br/cic/2005/arquivos/CB_00316.rtf>. Acesso em: 20 jan. 2019

VASCONCELOS, E. S. de; CRUZ, C. D.; BHERING, L. L.; JÚNIOR, M. F. R. R. Método alternativo para análise de agrupamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1421-1428, 2007.

VIANA, E.; DEUNER, C. C. Sobrevivência. In: REIS, E. M. **Seminário sobre giberela em cereais de inverno**. Coletânea de Trabalhos. Passo Fundo: Berthier, 2011. p. 43-54.

WEGULO, S. N. Factors influencing Deoxynivalenol accumulation in small grain cereals. **Toxins**, v. 12, n. 11, p.1157-1180, 2012.

YANG, W.; LIU, D.; LI, J.; ZHANG, L.; WEI, H.; HU, X. Synthetic hexaploid wheat and its utilization for wheat genetic improvement in China. **Journal of Genetics and Genomics**, v. 36, n. 9, p. 539-546, 2009.

ZAMBOLIM, L.; CASA, R. T.; REIS, E. M. Sistema plantio direto e doenças em plantas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, n.4, p. 585-595. 2000.

ZANOTTO, M.; BRAMMER, S. P.; NASCIMENTO JUNIOR, A. D.; SCAGLIUSI, S. Viabilidade polínica como seleção assistida no programa de melhoramento genético de triticales. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 2078-2082, 2009.

ZHANG, H.; XUA, C.; HE, Y.; ZONG, J.; YANG, X.; SI, H.; SUN, Z.; HUD, J.; LIANG, W.; ZHANG, D. Mutation in CSA creates a new photoperiod-sensitive genic male sterile line applicable for hybrid rice seed production. **PNAS**, v. 110, n. 1, p. 76–81, 2012.

ZHANG, P.; DREISIGACKER, S.; MELCHINGER, A. E.; REIF, J. C.; KAZI, A. M.; VAN GINKEL, M.; WARBURTON, M. L. Quantifying novel sequence variation and selective advantage in synthetic hexaploid wheats and their backcross-derived lines using SSR markers. **Molecular Breeding**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2005.

ZHENG, T. C.; ZHANG, X.K.; YINA, G. H.; WANGA, L. N.; HANA, Y. L.; CHEN, L.; HUANGA, F.; TANGA, J. W.; XIAD, X. C.; HED, Z. H. Genetic gains in grain yield, net photosynthesis and stomatal conductance achieved in Henan Province of China between 1981 and 2008. **Field Crops Research**, v.122, p. 225–23, 2011.

ZHOU, W-C.; KOLB, F. L.; BAI, G. H.; SHANER, G.; DOMIER, L. L. Genetic analysis of scab resistance QTL in wheat with microsatellite and AFLP markers. **Genome**, v. 45, p. 719–727, 2002.

ZHU, Z.; BONNETT, D.; ELLIS, M.; HE, X.; HESLOT, N.; DREISIGACKER, S.; SINGH, P. Characterization of Fusarium head blight resistance in a CIMMYT synthetic-derived bread wheat line. **Euphytica**, v. 208, n. 2, p. 367-375, 2016

ZOLDAN, S. M. **Regiões de risco, caracterização da antese em cereais de inverno e Sistema de alerta para a giberela, em trigo.** 152 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

