

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



**Dissertação**

**DIALELO COMPLETO E ASSOCIAÇÃO ENTRE CARACTERES DE  
RENDIMENTO EM TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

**Alan Junior de Pelegrin**

**Pelotas, 2017**

Alan Junior de Pelegrin

**DIALELO COMPLETO E ASSOCIAÇÃO ENTRE CARACTERES DE  
RENDIMENTO EM TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

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

Orientador: Luciano Carlos da Maia, Dr. – FAEM/UFPeI

Co-orientador: Antonio Costa de Oliveira, PhD. – FAEM/UFPeI

Velci Queiróz de Souza, Dr. – UNIPAMPA *Campus* Dom Pedrito

Maicon Nardino, Dr. – IFM/UFPeI

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

P381d Pelegrin, Alan Junior de

Dialelo completo e associação entre caracteres de rendimento em trigo (*Triticum aestivum* L.). / Alan Junior de Pelegrin ; Luciano Carlos da Maia, orientador. — Pelotas, 2017.

73 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. *Triticum aestivum* L.. 2. Capacidade combinatória. 3. Rendimento de grãos. 4. Coeficiente de correlação. 5. Análise de trilha. I. Maia, Luciano Carlos da, orient. II. Título.

CDD : 633.16

Alan Junior de Pelegrin

**DIALELO COMPLETO E ASSOCIAÇÃO ENTRE CARACTERES DE  
RENDIMENTO EM TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

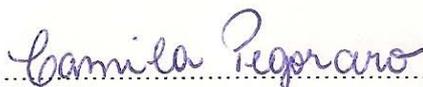
Dissertação aprovada, como requisito parcial, para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (Área de concentração: Fitomelhoramento), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 03 de agosto de 2017.

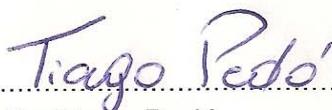
Banca Examinadora:



.....  
Prof. Dr. Luciano Carlos da Maia (Orientador)  
Departamento de Fitotecnia – FAEM/UFPel.



.....  
Prof. Dr. Camila Pegoraro  
Departamento de Fitotecnia – FAEM/UFPel.



.....  
Prof. Dr. Tiago Pedó  
Departamento de Fitotecnia – FAEM/UFPel.

Aos meus genitores Valdino e Enelita, e  
minhas irmãs Carla e Carolini, pelos  
ensinamentos, amor, dedicação e apoio em  
todos os momentos de minha vida.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida e por todos seus ensinamentos.

Aos meus pais Valdino de Pelegrin e Enelita Garlet de Pelegrin, por todos os ensinamentos sobre amor, carinho, fé, honestidade, humildade, perseverança e pelo apoio, incentivo, auxílio e ensinamentos de como encarar todos os momentos da vida. À minhas irmãs Carla Maria Garlet de Pelegrin e Carolini de Pelegrin pelo companheirismo e carinho.

Ao professor orientador Dr. Luciano Carlos da Maia, pelos imensos ensinamentos, atenção, amizade, confiança e pelo exemplo de profissionalismo.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, em especial ao professor co-orientador PhD. Antonio Costa de Oliveira e a professora Dr. Camila Pegoraro, pelas diversas contribuições de ensino.

Aos co-orientadores Dr. Velci Queiróz de Souza e Dr. Maicon Nardino pela amizade, consideração e confiança construída durante longos anos de trabalho. Além disto, agradecer pela atenção, caráter, paciência e todos os ensinamentos de profissionalismo, dedicação e amor pela ciência.

Aos meus amigos e colegas de doutorado, mestrado e iniciação científica, em especial à Ivan Ricardo Carvalho, Vinícius Jardel Szarecki, Nathan Löbler dos Santos, Adriel Somavilla Uliana, Tiago Corazza da Rosa, Giordano Gelain Conte e Tamires Martins da Silva pelos valiosos conselhos, amizade, troca de conhecimentos e parceria no ambiente da pós-graduação.

A Universidade Federal de Santa Maria *Campus* Frederico Westphalen através do Laboratório de Melhoramento Genético e Produção de Plantas (LMGPP), pela disponibilidade de infraestrutura e recursos humanos para a realização dos trabalhos.

A Universidade Federal de Pelotas (UFPel), a Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), ao Centro de Genômica e Fitomelhoramento (CGF) pela oportunidade de cursar o curso de pós-graduação.

Finalmente, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

*“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”*  
(Simone de Beauvoir).

## RESUMO

PELEGRIN, Alan Junior de. **Dialelo completo e associação entre caracteres de rendimento em trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 2017, 73f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade combinatória em um dialelo completo de trigo na geração F<sub>2</sub>, como critério para seleção de genitores promissores, bem como, revelar as associações de causa e efeito entre os componentes e o rendimento de grãos em função de diferentes manejos de nitrogênio. Foram realizados dois experimentos no campo experimental da Universidade Federal de Santa Maria *Campus* Frederico Westphalen. No primeiro experimento foram utilizados cinco genótipos de trigo (Tbio Mestre, Mirante, Quartzo, Pampeano e Fundacep Horizonte), submetidos a cruzamentos artificiais no ano de 2013, conforme modelo dialélico completo. Em 2015, as 20 populações F<sub>2</sub>'s e os cinco genitores foram conduzidos em blocos aumentados de Federer, e os genitores dispostos em quatro repetições. Os caracteres avaliados foram: massa de grãos por planta, altura de inserção da espiga, estatura de planta, número de afilhos férteis, espaçamento entre espiguetas na espiga, número de espiguetas e comprimento da espiga. Foram realizadas as análises de capacidade geral e específica de combinação, efeito recíproco materno e não-materno. O segundo experimento foi conduzido em blocos ao acaso, sob esquema de parcelas subdivididas, com três genótipos (Fundacep 52, TBIO Mestre e TBIO Itaipu), duas fontes nitrogenadas (Ureia e Nitrato de amônia) e quatro manejos de nitrogênio (I: ausência de nitrogênio, II: 100% no afilhamento, III: 50% no afilhamento e 50% no emborrachamento e VI: 33,3% no afilhamento, 33,3% no emborrachamento e 33,3% no florescimento). Os caracteres avaliados foram: massa de mil grãos, número de grãos por espiga, massa de grãos na espiga principal, rendimento de grãos, estatura de planta, número de afilhos férteis e comprimento da espiga. Foram realizadas a análise de variância conjunta e posteriormente a correlação linear de *Pearson* e análise de trilha individual para cada manejo de nitrogênio. O genitor Cep Horizonte apresenta elevada capacidade de combinação para massa de grãos por planta. Quartzo e Mirante maximizaram o número de espiguetas por espiga e comprimento de espiga, respectivamente, e Tbio Mestre mostrou-se promissor para redução da altura de inserção da espiga, estatura de planta e espaçamento entre espiguetas na espiga. Para os cruzamentos realizados existem combinações híbridas favoráveis para pelo menos, uma das características avaliadas com base da capacidade específica de combinação. O efeito recíproco demonstra-se presente nos caracteres avaliados. O manejo nitrogenado altera as relações de causa e efeito entre os componentes de rendimento de grãos nos genótipos estudados. A adoção do manejo sem nitrogênio aplicado em cobertura (manejo I), indica a relação de causa e efeito entre o número de afilhos férteis e o rendimento de grãos do trigo. A adoção de qualquer um dos outros manejos de nitrogênio, revela que a massa de grãos da espiga principal e o número de afilhos férteis possui relação de causa e efeito com o rendimento de grãos do trigo.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L., capacidade combinatória, rendimento de grãos, coeficiente de correlação, análise de trilha.

## ABSTRACT

PELEGRIN, Alan Junior de. **Full diallel and association among yield traits in wheat (*Triticum aestivum* L.)** 2017, 73f. Dissertation (Master's Degree) – Agronomy Graduation Program. Federal University of Pelotas, Pelotas – RS.

The aim of this work was to evaluate the combining ability of a wheat F<sub>2</sub> generation through a full diallel, as a criterion for selecting promising genitors, as well as to reveal the associations of cause and effect between components and grain yield as function of different nitrogen management. Two experiments were carried out in the experimental field of the Federal University of Santa Maria, Campus Frederico Westphalen. Five wheat genotypes (Tbio Mestre, Mirante, Quartzo, Pampeano e Fundacep Horizonte) were used in the first experiment, which were subjected to artificial crosses in the year of 2013, according to the full diallel model. In 2015, the twenty F<sub>2</sub> populations and the five genitors were conducted in Federer's augmented blocks, with genitors arranged in four repetitions. The evaluated traits were: mass of grains per plant, spike insertion height, plant height, number of fertile tillers, spikelets spacing in the spike, number of spikelets and spike length. There were performed the analyses of general and specific combining ability, maternal and non-maternal reciprocal effects. The second experiment was conducted in randomized blocks, under subdivided plots, with three genotypes (Fundacep 52, TBIO Mestre and TBIO Itaipu), two nitrogen sources (urea and ammonium nitrate) and four nitrogen managements (I: absence of nitrogen, II: 100% at tilling stage, III: 50% at tilling stage, and 50% at booting stage, VI: 33.3% at tilling, 33.3% at booting and 33.3% at flowering). The evaluated traits were: mass of a thousand grains, number of grains per spike, mass of grains in the main spike, grain yield, plant height, number of fertile tillers and spike length. It was performed the analysis of joint variance followed by Pearson's linear correlation and individual path analysis for each nitrogen management. The genitor Cep Horizonte presents high combining ability for mass of grains per plant. Quartzo and Mirante maximized the number of spikelets per spike and spike length, respectively, and Tbio Mestre presented itself promising for reduction of spike insertion height, plant height and spikelet spacing in the spike. Regarding the crosses performed, there are favorable hybrid combinations for at least one of the evaluated traits based on the specific combining ability. The reciprocal effect is present in the evaluated traits. Nitrogen management alters the relation of cause and effect among grain yield and its components. The adoption of no nitrogen on topdressing (management I) indicates the cause and effect relationship between number of fertile tillers and grain yield of wheat. The adoption of any other nitrogen managements reveals that mass of grains in the main spike and number of fertile tillers present cause and effect relationship with grain yield.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., combining ability, grain yield, correlation coefficient, path analysis.

## LISTA DE TABELAS

### 3 CAPÍTULO II – Capacidade combinatória como critério na seleção de genitores em trigo

<b>Tabela 3.1</b>	Cultivares, instituição de origem, ano de lançamento e genealogias dos genitores presentes nos cruzamentos artificiais.....	32
<b>Tabela 3.2</b>	Resumo da análise de variância dialélica para sete caracteres agronômicos de trigo, segundo o modelo I de Griffing (1956).....	35
<b>Tabela 3.3</b>	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos cinco genitores em relação aos sete caracteres agronômicos de trigo estudados.....	37
<b>Tabela 3.4</b>	Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) para sete caracteres agronômicos de trigo resultante dos cruzamentos 5 × 5 genitores de trigo.....	40
<b>Tabela 3.5</b>	Estimativas dos efeitos recíprocos para sete caracteres agronômicos de trigo resultante dos cruzamentos 5 × 5 genitores de trigo.....	41
<b>Tabela 3.6</b>	Estimativas do efeito materno (MAT) e não materno (NMAT) para sete caracteres agronômicos de trigo dos genitores e dos cruzamentos 5 × 5 genitores de trigo.....	42

### 4 CAPÍTULO III – Análise de trilha em trigo sob diferentes manejos de nitrogênio

<b>Tabela 4.1</b>	Atributos químicos do solo.....	52
<b>Tabela 4.2</b>	Resumo da análise de variância para sete componentes do rendimento do trigo em dois anos de cultivo, três genótipos, dois fontes e quatro manejos de nitrogênio .....	56
<b>Tabela 4.3</b>	Estimativas da correlação linear de <i>Pearson</i> para sete componentes do rendimento do trigo em dois anos de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas.....	57
<b>Tabela 4.4</b>	Estimativas da correlação linear de <i>Pearson</i> para sete componentes do rendimento do trigo em dois anos de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas.....	58

<b>Tabela 4.5</b>	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos em seis caracteres de interesse agrônômico sobre o rendimento de grãos para o manejo de nitrogênio I e II, em dois anos de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas.....	61
<b>Tabela 4.6</b>	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos em seis caracteres de interesse agrônômico sobre o rendimento de grãos para o manejo de nitrogênio III e IV, em dois anos de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas.....	62

**SUMÁRIO**

<b>RESUMO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>2 CAPÍTULO I – CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E ASSOCIAÇÃO ENTRE COMPONENTES DO RENDIMENTO DE GRÃOS EM TRIGO (Revisão Bibliográfica) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Trigo .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1 Histórico da cultura.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Importância socioeconômica da cultura.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3 Classificação e caracterização botânica .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.4 Melhoramento do trigo.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.5 Rendimento de grãos do trigo .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Segregação em cruzamentos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Análise dialélica .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Capacidade de combinação .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Correlação entre caracteres .....</b>	<b>24</b>
<b>2.6 Análise de trilha.....</b>	<b>25</b>
<b>2.7 Referências Bibliográficas .....</b>	<b>27</b>
<b>3 CAPÍTULO II – CAPACIDADE COMBINATÓRIA COMO CRITÉRIO NA SELEÇÃO DE GENITORES EM TRIGO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Materiais e métodos.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4 Conclusão .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5 Referências Bibliográficas .....</b>	<b>45</b>
<b>4 CAPÍTULO III – ANÁLISE DE TRILHA EM TRIGO SOB DIFERENTES MANEJOS DE NITROGÊNIO.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 Materiais e Métodos .....</b>	<b>51</b>
<b>4.3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>55</b>
<b>4.4 Conclusão .....</b>	<b>64</b>

<b>4.5 Referências Bibliográficas .....</b>	<b>65</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>69</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Introdução Geral).....</b>	<b>71</b>
<b>Vitae.....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) constitui-se um importante cereal na cadeia agropecuária mundial, considerado um dos cereais mais produzidos no mundo junto com o milho e o arroz, sendo produzidas mais de 735 milhões de toneladas na safra 2015/16. A União Europeia, a China e a Índia destacam-se como os maiores produtores de trigo, representando mais de 50% da produção mundial (USDA, 2017). O Brasil é o terceiro maior importador de trigo, representando a dependência de matéria prima oriundas de outros países principalmente da Argentina. No Brasil, a região Sul é responsável pela maior parte da produção principalmente o Paraná, o maior produtor nacional do cereal (CONAB, 2017).

A grande importância do trigo é justificada principalmente por estar relacionado ao fornecimento de matéria-prima base, para elaborar produtos alimentícios para humanos e animais (MITTELMANN et al., 2000), e pelo papel social e econômico que este cereal desempenha, integrando esquemas de rotação com as culturas da soja e milho em semeadura direta e geração de renda para as propriedades rurais (VALÉRIO et al., 2009).

Pesquisas estimam que a população mundial alcançará a marca de 9 milhões de habitantes no ano de 2050. Diante disso, o progresso na produção de grãos torna-se de fundamental importância no intuito de suprir a demanda por alimentos. O melhoramento genético destaca-se como uma das principais ferramentas que colaboram para este aumento da produção de alimentos (RAMALHO et al., 2012).

No melhoramento convencional, as maiores dificuldades encontradas na busca de genótipos superiores de interesse pelos melhoristas estão relacionadas a herança dos caracteres. O rendimento de grãos e seus componentes, por serem caracteres quantitativos possuem herança complexa, com baixa herdabilidade e fortemente influenciado pelo ambiente de cultivo (HALLAUER et al., 2010). Neste sentido grande número de fatores bióticos e abióticos estão relacionados ao rendimento do trigo, entre esses destacam-se o genótipo, as condições climáticas e fertilidade do solo. Com relação a fertilidade, o nitrogênio é requerido em quantidades elevadas (KUTMAN et al., 2011), exercendo forte influência na produtividade e nos demais

componentes de produção (BENIN et al., 2012; XU et al., 2012). O momento de aplicação do nitrogênio é um dos aspectos mais criteriosos em gramíneas, pois interfere no rendimento e qualidade dos grãos por meio de estímulos fisiológicos, com isso, aplicações precoces ou tardias tendem a possuir baixa eficiência e aproveitamento pelas plantas (KLUTHCOUSKI et al., 2006).

O melhoramento genético dispõe de ferramentas para obtenção de novos genótipos, com superioridade agrônômica e que atendam às exigências do mercado. A escolha de genitores para compor os blocos de cruzamento somente com base no seu comportamento *per se* pode resultar em um progresso genético, no entanto, este processo pode ser aleatório e de difícil repetibilidade (FEHR, 1987). Dessa maneira, a análise dialélica tem sido utilizada com sucesso na avaliação da capacidade combinatória, fornecendo estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para cruzamentos artificiais, assim como no entendimento dos efeitos gênicos envolvidos na determinação dos caracteres.

O verdadeiro valor de um genitor está na capacidade do mesmo combinar-se com outro genitor, sendo este desempenho atribuído a capacidade de combinação, ou seja, a capacidade relativa de um genitor em transmitir seu desempenho desejável para seus cruzamentos. Análises da capacidade de combinação não são apenas métodos rápidos para estimar a natureza genética de caracteres herdados quantitativamente, mas também oferecem informações essenciais para seleção de genitores que evidenciem combinações híbridas superiores (SINGH et al., 2013). Neste contexto, os cruzamentos dialélicos são importantes para predizer as melhores combinações, pois possibilitam maior eficiência no direcionamento dos recursos financeiros e humanos, a fim de gerar um constante ganho genético no desenvolvimento de genótipos elites (VALÉRIO et al., 2009).

Para que a eficiência nos programas de melhoramento seja maximizada, os estudos da associação entre caracteres são de grande importância, pois possibilitam progressos mais rápidos ao programa de melhoramento de plantas (CARVALHO et al., 2004). Neste contexto, a seleção indireta constitui-se uma alternativa viável, em situações onde a seleção é efetuada nas primeiras gerações ou para os caracteres que apresentam baixa herdabilidade e difícil mensuração. O entendimento das associações entre caracteres é extremamente importante para os ganhos genéticos e seleção dos melhores genitores, cujo objetivo final do melhoramento é o

desenvolvimento de cultivares superiores de elevada performance para as principais características desejáveis (HALLAUER, 2007).

A análise de trilha (*path analysis*) desenvolvida por Wright (1921) é uma importante ferramenta de posse do melhorista, devido ao fato de possibilitar a decomposição da associação existente dos demais caracteres com o caráter de interesse em efeitos diretos e indiretos (CRUZ; REGAZZI, 1997; CRUZ; CARNEIRO, 2006), revelando as reais associações de causa e efeito entre os caracteres (KUREK et al., 2001), sendo potencializados os progressos com o emprego desta ferramenta em comparação a seleção direta (FERREIRA et al., 2007) .

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi de contribuir para a melhoria das técnicas de seleção, com a escolha de genitores com alta capacidade combinatória e aferir as associações fenotípicas para um conjunto de caracteres de interesse agrônomo, buscando aumento da eficiência de seleção de genótipos superiores. O trabalho teve os seguintes objetivos específicos: (i) avaliar a capacidade combinatória em um dialelo completo de trigo na geração F<sub>2</sub>, como critério para seleção de genitores promissores para formação da população base, sob a hipótese que os genótipos possuem comportamento diferenciado quando submetidos a hibridações, podendo-se encontrar cruzamentos específicos que resultem em progênies superiores; e (ii) revelar as associações de causa e efeito entre os componentes e o rendimento de grãos em função de diferentes manejos de nitrogênio, sob a hipótese que o manejo de nitrogênio utilizado no trigo, pode afetar a disponibilidade de nitrogênio durante este período, podendo alterar a contribuição dos componentes no rendimento de grãos da cultura.

## **2 CAPÍTULO I**

### **CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E ASSOCIAÇÃO ENTRE COMPONENTES DO RENDIMENTO DE GRÃOS EM TRIGO (Revisão Bibliográfica)**

#### **2.1 Trigo**

##### **2.1.1 Histórico da cultura**

As evidências arqueológicas demonstram que os primeiros cultivos de trigo foram realizados em 6.700 a.C. na região da mesopotâmia, próximo aos rios Tigres e Eufrates no oriente Médio, onde hoje está localizado o Iraque (TOMASINI; AMBROSI, 1998). O trigo é considerado a primeira espécie a ser domesticada pelo homem, sendo base para a alimentação de civilizações asiáticas, europeias e africanas e sua aptidão alimentícia proporcionou a cultura espalhar-se por vários territórios agrícolas do mundo (VESOHOSKI et al., 2011).

No Brasil o trigo chegou trazido por Martim Afonso de Souza, no ano de 1534. No início, o clima quente dificultou o desenvolvimento da cultura no país. Foi na metade do século XVIII que este começou a ser cultivado no Rio Grande do Sul, entretanto, as lavouras foram dizimadas pela ferrugem. O cultivo deste cereal só retornou no país por volta de 1920 e a partir de 1940, o cultivo do trigo expandiu-se para os estados do Rio Grande do Sul e Paraná, os quais tornaram-se os maiores produtores (ABITRIGO, 2017).

##### **2.1.2 Importância socioeconômica da cultura**

O trigo é um importante cereal envolvido principalmente no fornecimento de matéria-prima base para elaborar produtos alimentícios para humanos e animais (MITTELMANN et al., 2000). Além disso, o cultivo deste cereal constitui-se de fundamental importância para pequenas e grandes propriedades rurais, isto porque

integra esquemas de rotação ou sucessão de culturas, junto ao cultivo da soja e do milho no sistema de semeadura direta (VALÉRIO et al., 2008).

A área mundial cultivada com trigo na safra agrícola 2015/2016 foi de aproximadamente 22,2 milhões de hectares, com produção aproximada de 736 milhões de toneladas de grãos, obtendo média de produtividade mundial de 2,9 toneladas por hectare. Os maiores produtores são a União Européia, China e a Índia, os quais em conjunto, correspondem a mais de 50% da produção mundial (USDA, 2017).

O Brasil não se encontra entre os maiores produtores de trigo, além disso, devido a produção não suprir a demanda, o país encontra-se entre os maiores importadores mundiais deste cereal. Na safra agrícola 2015/2016, o país semeou cerca de 2,1 milhões de hectares, alcançando uma produção de 6,7 milhões de toneladas e produtividade média de 3,2 toneladas por hectare (CONAB, 2017). Este cereal é a terceira espécie agrícola mais cultivada no Brasil, destacando-se a região Sul como maior produtora. O Rio Grande do Sul é o segundo maior produtor, atrás apenas do Paraná. Na safra 2015/2016 o estado cultivou uma área de 776,9 mil hectares, com produção total de 2,5 milhões de toneladas, sendo a produtividade média de 3,2 toneladas por hectare (CONAB, 2017).

### **2.1.3 Classificação e caracterização botânica**

O trigo (*Triticum aestivum* L.) pertence à família Poaceae, tribo Triticeae, sub tribo Triticinea e gênero *Triticum* (SCHEEREN, 2011). Caracterizado por ser uma espécie alohexaplóide (AABBDD), o trigo comum ( $2n=42$ ) apresenta-se como um conjunto de três genomas diploides completos, desta forma, cada genoma é proveniente de uma espécie, onde o *Triticum urartu* corresponde ao genoma AA, o *Aegilops speltoides* corresponde ao genoma BB e o *Aegilops tauschii* corresponde ao genoma DD (BRENCHLEY et al., 2012). A planta de trigo é constituída por um colmo principal e seus afilhos, sendo que em cada colmo tem-se os entrenós, o pedúnculo e a espiga. O sistema radicular é do tipo fasciculado e as folhas são compostas pela bainha, lâmina, lígula e um par de aurículas na base da lâmina, dispostas de forma alternada, formando um ângulo de 180° entre uma folha e outra. O colmo normalmente é oco, cilíndrico e com 4 a 7 entrenós e a altura da planta varia em relação aos diferentes genótipos e ambientes de crescimento. A inflorescência é uma espiga

composta, dística, formada por espiguetas alternadas e opostas no ráquis. A espiga pode ter uma grande variação quanto à forma, densidade, comprimento e largura. Cada espiguetas é constituída por flores, de 3 a 9, dispostas alternadamente e presas à ráquila. Na base da espiguetas estão duas brácteas denominadas glumas. Cada flor é constituída por uma lema e uma pálea, na qual, entre estas duas estruturas estão o estigma e as três anteras (SCHEEREN, 2011).

O grão é um fruto do tipo cariopse, seco e indeiscente podendo variar em forma, comprimento e largura. É basicamente dividido em casca, endosperma e gérmen. A composição química do grão de trigo de modo geral, consiste em 13% de água, 13% de proteína, 2% de óleo, 2% de fibras, 2% de minerais e 67% de amido (SCHEEREN et al., 2011).

#### **2.1.4 Melhoramento do trigo**

O melhoramento genético do trigo no Brasil teve seu início no ano de 1914 com o químico Jorge Polysú. Os altos preços do trigo no mercado mundial, no período entre a primeira e a segunda guerra mundial, forçaram o governo Federal a tomar medidas para aumentar a produção nacional. Polysú selecionou, em Tirol – Paraná, diversas linhagens, a partir de sementes provenientes de Guaporé – Rio Grande do Sul. Estas ficaram conhecidas como Linhas Polysú e foram extremamente importantes para o melhoramento genético do trigo no sul do Brasil. Logo em seguida, foi lançada a cultivar PG1 a partir das Linhas Polysú.

Em 1938, com a criação da Estação Experimental de Passo Fundo, reiniciaram os trabalhos do Ministério da Agricultura no Rio Grande do Sul. Em 1943, foi criado o Instituto Agrônômico do Sul - IAS, com sede em Pelotas, RS, incorporando as Estações Experimentais de Pelotas e de Passo Fundo, no Rio Grande do Sul; de Rio Caçador em Santa Catarina; e as de Ponta Grossa e de Curitiba, no Paraná. Posteriormente, o melhoramento de trigo no Brasil continuou sendo executado por órgãos governamentais, por instituições paraestatais e por empresas privadas. Em 1973, foi fundada a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), onde em 1974, foi criado o Centro Nacional de Pesquisa de Trigo - CNPT, instalado na base física da Estação Experimental de Passo Fundo (SCHEEREN et al., 2011).

Atualmente, a maioria dos programas de melhoramento de trigo no país reúne esforços na obtenção de genótipos com tolerância à acidez do solo, a resistência às

principais doenças do trigo, o aperfeiçoamento do tipo agrônomo, o potencial produtivo e a qualidade tecnológica. Esses programas de melhoramento buscam a criação de cultivares com bom desempenho agrônomo e industrial (OLIVEIRA NETO; SANTOS, 2017).

### **2.1.5 Rendimento de grãos do trigo**

O potencial de rendimento de grãos das culturas é uma característica quantitativa muito complexa, e dependente da capacidade apresentada pela planta de produzir, translocar e estocar carboidratos nos grãos (SLEEPER; POELMAN, 2006). Desta forma, as bases genéticas que envolvem o rendimento de grãos da cultura do trigo, revelam maior dificuldade devido sua expressão estar associada a um grande número de genes com pequeno efeito, consequentemente, maiores dificuldades na seleção direta, devido a interação entre os diferentes componentes de rendimento e o efeito do ambiente.

O rendimento de grãos em trigo é determinado por vários componentes, como o número de espigas por planta, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga e por espiguetas e peso médio do grão, os quais são fortemente influenciados por fatores genéticos e do ambiente (CRUZ et al, 2003). Estes componentes associam-se distintamente, em função de alterações do ambiente, seja por estímulos ou por estresses, fato que pode ou não resultar em modificações na produtividade do trigo (FIOREZE, 2011).

## **2.2 Segregação em cruzamentos**

As espécies autógamas são caracterizadas por apresentarem alta taxa de autofecundação (CARVALHO et al., 2008). Devido a este fato, a utilização de cruzamentos artificiais nos programas de melhoramento neste tipo de espécie, torna-se um importante recurso, no intuito de obter-se genótipos superiores, que atendam às necessidades das indústrias e dos consumidores. Este processo de “hibridação” origina genótipos altamente heterozigotos, os quais, a partir de sucessivas autofecundações resultam em populações segregantes ( $F_2$ ,  $F_3$ , ...) até apresentar alto nível de alelos em homozigose (BALDISSERA et al., 2014).

Os programas de melhoramento que utilizam a técnica da hibridação como ferramenta para aumentar a variabilidade, direcionam seus esforços na escolha de populações segregantes, pois elas revelam variabilidade genética, principalmente quando aos genitores apresentem-se geneticamente distintos (SANTOS et al., 2001; BENITEZ et al., 2011), aumentando assim, a possibilidade de selecionar genótipos transgressivos para a característica de interesse (VIEIRA et al., 2005).

A segregação transgressiva para caracteres quantitativos e qualitativos é evidenciada quando a progênie revela magnitudes maiores do que ambos os genitores para os caracteres de interesse, proporcionadas pela recombinação e rearranjo gênico, observada a partir da geração  $F_2$  (CARVALHO et al., 2008).

Os caracteres quantitativos representam a maioria das características de interesse agrônômico, e são caracterizados por apresentar distribuição contínua. A segregação dos genes envolvidos na herança deste tipo de caráter não pode ser seguida de forma individual, pois é controlada por muitos genes (FALCONER, 1981). Estes caracteres são de extrema importância para o melhoramento genético, visto que possibilitam a obtenção da estimativa de componentes de variância, e permitem a análise da estrutura e do potencial genético da população segregante (RAMALHO; VENCOSKY, 1978).

### **2.3 Análise dialélica**

As estratégias adotadas nos programas do melhoramento dependem da análise genética dos caracteres de interesse, pois as mesmas levam a um melhor conhecimento das relações genéticas das linhagens envolvidas nos cruzamentos. Os cruzamentos dialélicos são úteis para a predição das melhores combinações entre os genitores e de populações segregantes (VALÉRIO et al., 2009; BALDISSERA et al., 2012).

Os pesquisadores Sprague e Tatum (1942), Hayman (1954) e Griffing (1956) propuseram o conceito de cruzamento dialélico, como a recombinação da variabilidade genética disponível dentro do programa, ocorrendo a combinação entre todos os genitores, onde a partir de  $n$  genitores é possível obter  $n^2$  combinações.

Os cruzamentos dialélicos são classificados por Cruz e Regazzi (1994) em balanceados ou desbalanceados, completos, parciais, circulantes e desbalanceados. Dentre estes, os mais aplicados são os propostos por Griffing (1956), no qual são

estimados os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinação, a metodologia proposta por Gardner e Eberhart (1966), no qual são avaliados os efeitos da variedade e heterose varietal, e o proposto por Hayman (1954), que gera informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos genitores usados e do limite da seleção.

O método de Griffing (1956) é o mais utilizado, devido a sua generalidade, uma vez que os genótipos podem ser desde clones até linhas puras, além de apresentar facilidade nas análises e interpretações (VIANA, 2000). Griffing (1956) sistematizou uma metodologia de análise dialélica em que os “p” possíveis genótipos podem ser distribuídos em uma tabela  $p \times p$  e divididos em três grupos: (a) p genitores, (b)  $p(p-1)/2$  híbridos F1’s e (c)  $p(p-1)/2$  híbridos F1’s recíprocos. De acordo com a inclusão ou não dos genitores e/ou híbridos F1’s recíprocos, esta metodologia pode ser classificada em quatro delineamentos experimentais: Método 1, onde são incluídos as  $p^2$  combinações; Método 2, em que são incluídos  $p(p + 1)/2$  combinações, excluindo os híbridos F1’s recíprocos; Método 3, onde são incluídas  $p(p - 1)$  combinações, excluindo genitores; e Método 4, em que é incluído  $p(p-1)/2$  combinações, excluindo os genitores e os híbridos F1’s recíprocos;

A principal restrição dos cruzamentos dialélicos completos é exposta quando se tem um grande número de genitores envolvidos, que resulta em um grande número de combinações híbridas a serem avaliadas, refletindo em um alto custo, que em muitos casos pode ser um fator limitante ao programa de melhoramento (VEIGA et al., 2000; CARVALHO et al., 2004). No entanto, se o objetivo do pesquisador for cruzar um conjunto de constituições genéticas com outro conjunto de linhagens, é empregado o cruzamento dialélico parcial.

A análise dialélica é utilizada para estimar a capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) (CRUZ; REGAZZI, 1994), e a partir destas, estimar os parâmetros genéticos úteis na seleção de genitores para hibridação, como a identificação das ações gênicas do controle dos caracteres, identificando ainda as melhores combinações das linhagens a serem utilizadas como genitor masculino e genitor feminino (VENCOVSKY, 1987; BERNINI; PATERNIANI, 2012).

## 2.4 Capacidade de combinação

No melhoramento genético é importante o conhecimento das relações genéticas encontradas entre cruzamentos, que servirão como referência para a tomada de decisão na escolha das combinações. Neste contexto, a análise dialélica é empregada para estimar os efeitos da capacidade geral e da capacidade específica de combinação (CRUZ; REGAZZI, 1994). Esta metodologia foi primeiramente criada e amplamente utilizada no melhoramento de milho, posteriormente começou a ser empregada em espécies autógamas, mostrando-se eficiente para detectar diferenças genéticas entre as linhagens e alocação destas em grupos heteróticos (HAN et al., 1991; GONZALEZ et al., 1997; TERRON et al., 1997).

Para Sprague e Tatum (1942) e Vencovsky (1987) a capacidade geral de combinação está associada a genes de efeito aditivo, sendo definida como o comportamento médio de uma linhagem em combinações híbridas. Este parâmetro é essencial nos programas de melhoramento, pois a partir dele é possível indicar os melhores cruzamentos e selecionar os genitores para integrar os blocos de cruzamentos. A capacidade específica de combinação é estimada como o desvio do comportamento do cruzamento em relação ao que seria esperado, tendo como base a capacidade geral de combinação dos genitores. A CEC está relacionada aos efeitos gênicos não-aditivos, comportamento que leva certas combinações a serem superiores ou inferiores em relação a média das linhagens envolvidas.

Além desses dois parâmetros, uma outra informação está disponível quando o dialelo possuir os cruzamentos recíprocos dos híbridos (REC), ou seja, é possível indicar qual genótipo deve ser utilizado como genitor masculino ou como genitor feminino em uma combinação híbrida, de acordo com o seu desempenho como doador ou como receptor de pólen (BALDISSERA et al., 2012; ROCHA et al., 2014). A análise de capacidade de combinação de Griffing não requer pressuposições genéticas (CHRISTIE; SHATTUCK, 1992). Desde que foi proposta, tem sido largamente usado pelos melhoristas de plantas e tem proporcionado informações confiáveis sobre o potencial de combinação dos genitores (VIANA, 2000; PIMENTEL et al., 2013). É a técnica mais utilizada, principalmente em função da sua generalidade, pois os genitores podem ser linhas puras, considerando-se ainda as facilidades de análise e interpretação (PAGLIOSA, 2012).

## 2.5 Correlação entre caracteres

O estudo das correlações entre caracteres é imprescindível para o melhoramento genético, uma vez que o aperfeiçoamento de determinada população ou genótipo é direcionado para um conjunto de caracteres de forma conjunta. Isto faz com que a estimativa das correlações entre os caracteres seja utilizada no intuito de estabelecer estratégias adequadas de seleção (VENCOVSKY, 1987). A importância das correlações para o melhoramento genético é justificada por três aspectos principais: pela conexão com as causas genéticas, por meio da ação pleiotrópica ou ligação gênica; pela conexão com as mudanças efetuadas pela seleção e pela conexão com a seleção natural (FALCONER, 1981).

A existência de correlação entre os caracteres é crucial para o melhorista, pois indica que alterações aplicadas sobre um caráter específico, podem causar modificações em outro caráter. Essas associações quantificam a possibilidade de ganhos indiretos por seleção, onde caracteres de baixa herdabilidade têm a seleção mais eficiente quando realizada sobre caracteres que estão correlacionados a ele, e que apresentam maior herdabilidade e facilidade de mensuração (CRUZ; REGAZZI, 1997).

A correlação é a medida da associação linear entre dois caracteres, sendo o grau em que estes variam juntos (STEEL; TORRIE, 1980). A correlação é estimada por meio do coeficiente de correlação, que quantifica o grau de associação genético e não-genético entre dois caracteres (HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1988). O coeficiente de correlação, é um parâmetro adimensional, que varia de -1 a +1, onde o coeficiente igual a zero não implica em falta de relação entre dois caracteres, apenas reflete a ausência de associação linear entre estes (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Na interpretação das correlações entre caracteres, deve-se considerar a magnitude e o sinal, sendo que a magnitude indica a existência de relação linear entre os caracteres estudados, e o sinal indica se ambos os caracteres são influenciados conjuntamente, de forma positiva ou se na medida em que se incrementa um caráter, o outro é influenciado negativamente, reduzindo sua expressão (CRUZ, 2012).

A correlação entre caracteres pode ser considerada como um indicativo à seleção indireta, a qual consiste na seleção aplicada a outro caráter, que não seja o caráter principal que se deseja melhorar, sendo esse denominado de caráter secundário. Falconer (1981) apontou uma série de condições para obter-se eficiência

na seleção indireta pela correlação, entre elas: que a herdabilidade do caráter selecionado deve ser maior que a do caráter que se pretende melhorar e que a correlação genética entre os dois caracteres deve ser alta. Entretanto, este mesmo autor, afirma que a seleção indireta apenas será mais eficiente que a seleção direta em casos que dizem respeito a dificuldades técnicas, ao se aplicar a seleção direta no caráter de interesse a ser melhorado. Essas dificuldades técnicas estão relacionadas à precisão na mensuração do caráter, à ocorrência do caráter desejado em apenas um sexo, enquanto o caráter secundário puder ser mensurado em ambos os sexos.

O fenótipo de um indivíduo é determinado por sua constituição genética (genótipo) e pelo efeito do ambiente, sendo o Fenótipo (F) = Genótipo (G) + Ambiente (A). Diante disto, o fenótipo é resultado da ação conjunta dos efeitos genotípicos e do ambiente em que a planta está exposta. A associação entre dois caracteres que pode ser diretamente mensurada, em um grupo de indivíduos é denominada de correlação fenotípica. Esta é baseada na mensuração do fenótipo, sendo influenciada por duas causas, a primeira genética e a segunda ambiental (FALCONER, 1981).

As inferências das associações fenotípicas entre dois caracteres são importantes, pois permitem avaliar a viabilidade do emprego de seleção indireta, no entanto, sua utilização de forma equivocada pode induzir a conclusões errôneas, reduzindo sua aplicabilidade prática (CARVALHO et al., 2004). Neste contexto, se o caráter principal possui baixa herdabilidade, a correlação fenotípica é determinada principalmente pela correlação de ambiente. Em contrapartida, se o caráter apresenta alta herdabilidade a correlação fenotípica é decorrente da correlação genética (FALCONER, 1981).

## **2.6 Análise de trilha**

A análise de trilha foi descrita primeiramente por Wright (1921) e utilizada em 1923 com o intuito de promover a melhor compreensão das associações entre os caracteres, em função do desdobramento das correlações simples. A metodologia permite quantificar tanto a magnitude quanto a direção das associações entre caracteres de forma mais complexa, revelando a importância dos efeitos diretos e indiretos sobre o caráter dependente (CRUZ et al., 2012).

Esta análise é caracterizada por conferir associações que permitem revelar as inter-relações de causa e efeito nos caracteres estudados. Em melhoramento genético, a técnica é utilizada no intuito de determinar a importância de caracteres primários e secundários e nortear a seleção indireta de genótipos promissores, através de caracteres de interesse (CRUZ et al., 2012).

A análise de trilha é determinada através de um coeficiente padronizado que permite relacionar caracteres aferidos em diferentes unidades físicas, não apresentando notações em seus resultados (CRUZ et al., 2012). No melhoramento genético busca-se identificar os caracteres que evidenciam alta correlação com o caráter principal, no entanto, sentidos opostos entre a correlação total e seus efeitos diretos indicam ausência de associação de causa e efeito (CRUZ et al., 2006).

O conhecimento das relações de causa e efeito entre caracteres permite ao melhorista compreender a importância de cada caráter sob a expressão dos demais, pois a seleção indireta com a base apenas na associação linear entre caracteres, pode revelar modificações em características desejáveis (SANTOS et al., 2000).

## 2.7 Referências Bibliográficas

ABITRIGO. Associação Brasileira da indústria do trigo. **O Trigo na história**. 2017. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/trigo-na-historia.php>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

BALDISSERA, J. N. C.; VALENTINI, G.; COAN, M. M. D.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M. Fatores genéticos relacionados com a herança em populações de plantas autógamas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 13, n. 2, p. 181-189, 2014.

BALDISSERA, J. N. C.; VALENTINI, G.; COM, M. M. D.; ALMEIDA, C. B.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. F. M. Capacidade combinatória e efeito recíproco em características agronômicas do feijão. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 471-480, 2012.

BENITEZ, L. C.; RODRIGUES, I. C. S.; ARGE, L. W. P.; RIBEIRO, M. V.; BRAGA, E. J. B. Análise multivariada da divergência genética de genótipos de arroz sob estresse salino durante a fase vegetativa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 409-416, 2011.

BERNINI, C. S.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Estimativas de parâmetros de heterose em híbridos de populações F<sub>2</sub> de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 56-62, 2012.

BRENCHLEY, R.; SPANNAGL, M.; PFEIFER, M.; BARKER, G. L. A.; D'AMORE, R.; ALLEN, A. M.; MCKENZIE, N.; KRAMER, M.; KERHORNOU, A.; BOLSER, D.; KAY, S.; WAITE, D.; TRICK, M.; BANCROFT, I.; GU, Y.; HUO, N.; CHENG LUO, N.; SEHGAL, S.; GILL, B.; KIANIAN, S.; ANDERSON, O.; KERSEY, P.; DVORAK, J.; MCCOMBIE, W. R.; HALL, A.; MAYER, K. F. X.; EDWARDS, K. J.; BEVAN, M. W.; HALL, N. Analysis of the bread wheat genome using whole-genome shotgun sequencing. **Nature**, v. 491, p. 705-710, 2012.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento genético**. Pelotas: UFPel, 2004. 142 p.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; MARCHIORO, V.; SILVA, S. A. **Condução de populações no melhoramento genético de plantas**. Pelotas: UFPel, 2008. 288 p.

CHRISTIE, B. R.; SHATTUCK, V. I. 2-The Diallel Cross: Design, Analysis, and Use for Plant Breeders. In: **Plant Breeding Reviews**. v. 9. John Wiley & Sons. 1992.

CONAB – Companhia Brasileira de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira de grãos, safra 2016/2017**. Sexto Levantamento, n. 4, 2017. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_03\\_14\\_15\\_28\\_33\\_bol\\_etim\\_graos\\_marco\\_2017bx.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_14_15_28_33_bol_etim_graos_marco_2017bx.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2017.

CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV,

2012. 394 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2006. 586 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2ª ed. rev. Viçosa: Editora UFV, 1997. 390 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. 668 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Volume 1, 4ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, P. J. CARVALHO, F. I. F. de; SILVA, S. A.; KUREK, A. J.; BARBIERI, R. L.; CARGNIN, A. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. **Revista Brasileira de Agrociências**, v. 9, n. 1, p. 05-08, 2003.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1981. 279 p.

FIOREZE, S. L. **Comportamento produtivo do trigo em função da densidade de semeadura e da aplicação de reguladores vegetais**. 2011, 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2011.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometric**, v. 22, p. 439-452, 1966.

GONZALEZ, S.; CORDOVA, H.; RODRIGUEZ, S.; DE LEON, H.; SERRATO, V. M. Determinacion de um patrón heterótico a partir de la evaluacion de undialelo de diezlineas de maiz subtropical. **Agronomia Mesoamericana**, v. 8, p. 1-7, 1997.

GRIFFING, B. Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 4, p. 462- 93, 1956.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 1. ed. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3. ed. Ames: Iowa State University, 2010.

HAN, G. C.; VASAL, S. K.; BECK, D. L.; ELIAS, E. Combining ability of inbred lines derived from CIMMYT maize (*Zea mays* L.) germplasm. **Maydica**, v. 36, p. 57-64, 1991.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v. 39, p. 789–809, 1954.

MITTELMANN, A.; NETO, J. F. B.; CARVALHO, F. I. F.; LEMOS, M. C. I.; CONCEIÇÃO, L. D. H. Herança de caracteres do trigo relacionados a qualidade de panificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 975-983, 2000.

OLIVEIRA NETO, A. A. de; SANTOS, C. M. R. **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218 p.

PAGLIOSA, E. S. **Metodologias de análise dialélica como critério para a seleção de genitores de trigo**. 2012. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2012.

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, 2013.

RAMALHO, M. A. P.; VENCOVSKY, R. Estimação dos componentes da variância genética em plantas autógamas. **Ciência e Prática**, v. 2, p. 117-140, 1978.

ROCHA, F.; STINGHEN, J. C.; MURIELLI, S. G.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Análise dialélica como ferramenta na seleção de genitores de feijão. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 74-81, 2014.

SANTOS, P. G.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Predição do potencial genético de populações segregantes de arroz em terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, 2001.

SANTOS, R. C.; CARVALHO, L. P.; SANTOS, V. F. Análise de coeficiente de trilha para componentes de produção de amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 24, n. 1, p. 13-16, 2000.

SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; SÓ e SILVA, M.; BONOW, S. Melhoramento de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Ed.). **Trigo no Brasil: Bases para a produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 427-451.

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

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. 633 p.

TERRON, A.; PRECIADO, E.; CÓRDOVA, H.; MICKELSON, H.; LÓPEZ, R. Determinacion del patron heterotico de 30 lineas de maiz derivadas de la poblacion 43SR del CIMMYT. **Agronomia Mesoamericana**, v. 8, p. 26-34, 1997.

TOMASINI, R. G. A.; AMBROSI, I. Aspectos econômicos da cultura de trigo. **Caderno de Ciência & Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 59-84, 1998.

USDA – United States Department of Agriculture. **Statistics of grain and feed**. 2017. Disponível em: <[https://www.nass.usda.gov/Statistics\\_by\\_Subject/index.php?sector=CROPS](https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_Subject/index.php?sector=CROPS)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; BENIN, G.; MAIA, L. C.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. M.; SILVEIRA, G. Factors related to the production and development of tillers in wheat. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 4, p. 1207-1218, 2009.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; MACHADO, A. A.; BENIN, G.; SCHEEREN, P. L.; SOUZA, V. Q.; HARTWIG, I. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 319-326, 2008.

VEIGA, R. D.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência dos dialelos circulantes na escolha de genitores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1395-1406, 2000.

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

VESOHOSKI, F.; MARCHIORO, V. S.; FRANCO, F. A.; CANTELLE, A. Componentes de rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, v. 58, n. 1, p. 337-341, 2011.

VIANA, J. M. S. The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 4, p. 877-881, 2000.

VIEIRA, E. A.; ZIMMER, P. D.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; MALONE, G.; BENIN, G. Emprego de modelos gráficos na seleção de genitores de milho para hibridização e mapeamento genético. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 986-994, 2005.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557-585, 1921.

## 3 CAPÍTULO II

### CAPACIDADE COMBINATÓRIA COMO CRITÉRIO NA SELEÇÃO DE GENITORES EM TRIGO

#### 3.1 Introdução

O sucesso dos programas de melhoramento está relacionado com a capacidade combinatória entre os genitores, a qual é determinante para formação das populações segregantes dos cruzamentos (KUREK et al., 2001). Assim, a identificação de alta capacidade de combinação constitui uma etapa crucial no processo de melhoramento do trigo (KOTZAMANIDIS et al., 2008).

Nos programas de melhoramento anualmente são formadas e avaliadas muitas populações segregantes, no entanto, nem todas as combinações possuem potencial genético suficiente para originar genótipos com constituições genéticas superiores (BARROSO; HOFFMANN, 2003). Isso dificulta o progresso genético da cultura, pois parte dos recursos utilizados na formação, condução de populações e famílias segregantes não apresentarão resultados satisfatórios, comprometendo assim a eficiência dos programas de melhoramento das culturas.

A análise dialélica permite o estudo e a seleção da melhor combinação de genitores, por meio da avaliação da capacidade combinatória dos genitores nas progênes geradas. Além disso, ela permite determinar qual ação gênica predominante está controlando o caráter (CRUZ et al., 2012). Isto auxilia na escolha do método de condução das populações e no critério de seleção a ser adotado pelo melhorista. Antes limitado ao melhoramento de espécies alógamas, esse método vem sendo utilizado com sucesso em espécies autógamas, com resultados relevantes para as culturas como o arroz (TORRES; GERALDI, 2007; PEREIRA et al., 2008), feijão (GONÇALVES-VIDIGAL et al., 2008; TRINDADE et al., 2011), aveia (RIBEIRO et al., 2011; VALÉRIO et al., 2009) e trigo (SCHMIDT, 2008; BENIN et al., 2009; PIMENTEL et al., 2013; FAROOQ et al., 2014; AL-NAGGAR et al., 2015).

As gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> podem ser utilizadas com eficiência para estudar a capacidade de combinação em trigo, pois resultam em melhores predições do que as obtidas com a geração F<sub>1</sub> (BHULLAR et al. 1979). Quando empregado em gerações mais avançadas, os estudos da capacidade de combinação conduzidos nas gerações F<sub>2</sub> ou F<sub>3</sub> oferecem ainda, a oportunidade de testar os genótipos em diferentes ambientes, o que possibilita a obtenção de informações sobre uma possível interação genótipo x ambiente (BHULLAR et al., 1979; MASOOD; KRONSTAD, 2000).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade combinatória em um dialelo completo de trigo na geração F<sub>2</sub>, como critério para seleção de genitores promissores para formação da população base.

### 3.2 Materiais e métodos

O experimento foi realizado no ano de 2015, no campo experimental do Laboratório de Melhoramento Genético e Produção de Plantas – LMGPP, vinculado à Universidade Federal de Santa Maria *Campus* Frederico Westphalen – RS, localizado nas coordenadas 27°23'48,17"S e 53°25'34,82"W e altitude de 460 m. O solo é classificado como Latossolo vermelho distrófico (SANTOS et al., 2006) e o clima é caracterizado por Köppen como *Cfa* subtropical (ALVARES et al., 2013).

Foram utilizados cinco genótipos de trigo (Tbio Mestre, Mirante, Quartzo, Pampeano e Fundacep Horizonte) (Tabela 3.1), submetidos a cruzamentos artificiais conforme modelo dialélico completo, resultando em 20 combinações híbridas.

**Tabela 3.1** – Cultivares, instituição de origem, ano de lançamento e genealogias dos genitores presentes nos cruzamentos artificiais

Cultivares	Genealogia	Obtentor	Ano de Lançamento
Tbio Mestre	IBIO0810/Cronox//ORL00255	Biotrigo	2012
Mirante	Ônix/Taurum/Ônix	OR/Biotrigo	2008
Quartzo	Ônix/Avante	OR/Biotrigo	2007
Pampeano	ORL91274/ORL93807//ORL957 11'S	OR	2004
Cep Horizonte	BRS 119/CEP 97184	CCGL - Fundacep	2009

Fonte: RCBPTT, 2014.

A escolha dos genitores foi realizada com base nos atributos de elevado potencial produtivo, qualidade industrial do grão para panificação e adaptabilidade ou estabilidade às condições de cultivo.

As hibridações artificiais foram realizadas em casa de vegetação no ano de 2013, visando a obtenção da geração  $F_1$ . As sementes de cada cruzamento foram semeadas a campo para o avanço de geração no ano de 2014. As populações  $F_2$ 's foram obtidas pela autofecundação das plantas  $F_1$ 's, que após a colheita foram conservadas para comporem o experimento a campo em 2015.

Na safra agrícola de 2015, as 20 populações  $F_2$ 's e os cinco genitores foram conduzidos em blocos aumentados de Federer (FEDERER, 1956), onde os genitores foram dispostos em quatro repetições. A implantação do experimento foi efetuada em 18 de julho de 2015, época recomendada para semeadura de trigo no município de Frederico Westphalen – RS, de acordo com o zoneamento agroclimático para a cultura do trigo. Cada população foi semeada em linha, com espaçamento entre linhas de 0,60 m e 0,25 m entre plantas na linha contendo 50 plantas espaçadas.

A adubação de base utilizada foi 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (08-24-12), por cobertura aplicou-se 90 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de ureia, parcelado em duas aplicações, uma no início do afilhamento e outra no início do alongamento. O manejo de plantas daninhas, insetos-praga e doenças foi realizado de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do trigo (RCBPTT, 2014).

Foram avaliados os seguintes caracteres:

Massa de Grãos por Planta – MGP: efetuada através da pesagem total dos grãos obtidos de cada planta, resultados em gramas (g).

Altura de Inserção da Espiga – AIE: determinada pela mensuração na planta, do nível do solo até a inserção da espiga, resultados em centímetros (cm).

Estatura de Planta – EPL: determinada através da mensuração do nível do solo até a extremidade superior da espiga, resultados em centímetros (cm).

Número de Afilhos Fértis – NAF: efetuado quatro semanas após a antese das espigas, computando o número de afilhos com espiga presente, resultados expressos em unidades.

Espaçamento entre Espiguetas na Espiga – EESP: efetuado a partir da mensuração da distância entre as espiguetas de cada espiga, resultados expressos em milímetros (mm).

Número de Espiguetas – NESP: determinado pela contagem do número de espiguetas presentes por espiga, resultados expressos em unidade.

Comprimento da Espiga – CESP: efetuado através da medição da base da espiga até a extremidade superior, resultados expressos em cm.

Para a análise dialélica foi utilizada a metodologia proposta por Griffing (1956), método I, modelo I, onde são incluídas  $n^2$  combinações, através do modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que,  $Y_{ij}$ : valor médio da combinação híbrida ( $i \neq j$ ) ou do genitor ( $i = j$ ),  $m$ : média geral,  $g_i$  e  $g_j$ : efeitos da capacidade geral de combinação do  $i$ -ésimo e do  $j$ -ésimo genitor, respectivamente;  $s_{ij}$ : efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores de ordem  $i$  e  $j$ ;  $r_{ij}$ : efeito recíproco para os cruzamentos entre os genitores de ordem  $i$  e  $j$ ;  $\varepsilon_{ij}$ : erro experimental.

As análises estatísticas foram realizadas como o auxílio do programa computacional SAS por meio do macro DIALLEL-SAS05, descrito por Zhang et al. (2005). A contribuição relativa da capacidade geral de combinação (CGC), foi calculada de acordo com Baretta et al. (2015) e Nardino et al. (2016), através da relação entre a soma de quadrados (SQ) da CGC e a capacidade específica de combinação (CEC) em cada caráter estudado:

$$CGC (\%) = \frac{SQ_{CGC}}{SQ_{CEC} + SQ_{CGC}} \times 100$$

### 3.3 Resultados e Discussão

A análise de variância a 5% de probabilidade, revelou efeito significativo para o fator genótipo para todos os caracteres analisados (Tabela 3.2). Este efeito significativo verificado para todos caracteres indica existência de variabilidade genética entre os cruzamentos, que pode ser resultante dos efeitos gênicos aditivos e não aditivos, o que remete na possibilidade de obtenção para novas cultivares (SILVA et al., 2004).

As somas de quadrados de genótipo foram desdobradas em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). A presença de significância para a CGC reflete a grande importância dos efeitos gênicos aditivos na

expressão dos caracteres avaliados, para o conjunto de genótipos testados (PÁDUA et al., 2010). Na cultura do trigo prioritariamente são utilizadas linhas puras, em que tomar posse da CGC dos genitores é fundamental para os melhoristas, pois refere-se ao potencial que o genótipo possui em contribuir com genes de efeito aditivo para a expressão do caráter, fração esta que realmente interessa ao pesquisador pois, é repassada ao longo das gerações (RAMALHO et al., 1993). É relevante destacar a presença de significância da CGC para todos os caracteres, principalmente para a MGP, que foi e é um dos principais focos (direcionamento) da linha de pesquisa desse programa de melhoramento, pois indica que para estes caracteres existe ao menos um genitor superior aos demais, em relação ao seu desempenho médio nas combinações (RODRIGUES et al., 1998).

A CEC mostrou efeito significativo para os caracteres MGP, AIE, EPL, NAF, EESP, NESP e CESP, indicando que as combinações obtidas se diferem entre si e que os efeitos gênicos oriundos da não aditividade revelaram proeminência sobre todas as variáveis (SIBIYA et al., 2011; ROCHA et al., 2014). Desta forma, para tal circunstancia estes efeitos sugerem cautela por parte do melhorista na seleção de progênieis nesta geração, pois as características observadas podem ser perdidas ao longo das gerações.

**Tabela 3.2** – Resumo da análise de variância dialélica para sete caracteres agrônômicos de trigo, segundo o modelo I de Griffing (1956)

FV	Quadrado Médio							
	GL	MGP	AIE	EPL	NAF	EESP	NESP	CESP
Bloco	3	264,10	81,48	153,29	454,82	5,79	13,55	13,00
Genótipo	24	76,98*	789,71*	869,25*	625,67*	5,70*	38,85*	36,31*
CGC	4	57,30*	3.051,26*	3.566,88*	772,06*	6,23*	38,96*	39,18*
CEC	10	63,97*	372,94*	347,25*	545,97*	3,59*	43,91*	25,64*
REC	10	48,48*	295,19*	290,02*	655,58*	7,82*	34,22*	44,78*
MAT	4	62,79*	219,8*	210,26*	465,13*	4,86*	52,57*	35,12*
NMAT	6	38,94*	345,44*	343,19*	782,56*	9,80*	21,99*	51,23*
Erro	1263	17,65	38,21	46,20*	135,97	0,46	4,69	4,90
CV (%)	-	62,6	11,6	10,88	48,11	10,88	14,26	24,09
CGC (%)	-	26,38	76,59	80,43	36,13	40,94	26,20	37,94

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F;

† **FV** – Fator de Variação; **GL** – Graus de Liberdade; **MGP** – Massa de grãos por planta; **AIE** – Altura de Inserção da Espiga; **EPL** – Estatura de planta; **NAF** – Número de Afilhos Fértéis; **EESP** – Espaçamento entre Espiguetas na Espiga; **NESP** – Número de Espiguetas; **CESP** – Comprimento da Espiga; **CEC**: Capacidade Específica de Combinação; **REC** – Efeito Recíproco; **MAT** – Efeito materno; **NMAT** – Efeito não materno e **CV** – Coeficiente de Variação.

O cruzamento recíproco é aquele em que o genitor é utilizado ora como fêmea, ora como macho, desta forma, em função do resultado entre o cruzamento e o seu recíproco pode-se fazer inferência sobre o tipo de herança predominante para aquele caráter. Se a herança de um caráter é controlada por genes nucleares, os resultados de um cruzamento e seu recíproco serão idênticos. No entanto, se for um caráter que é decorrente de efeitos citoplasmáticos, o resultado dos cruzamentos recíprocos será diferente, pois os descendentes de cada cruzamento terão sempre o mesmo fenótipo do genitor feminino, que contribui com o citoplasma (RAMANHO et al., 2012)

O efeito recíproco (REC) indica qual genótipo deve ser utilizado como genitor masculino ou como genitor feminino em uma combinação híbrida, de acordo com o seu desempenho como doador ou como receptor de pólen (BALDISSERA et al., 2012; ROCHA et al., 2014). Desta forma, pode-se observar que todos os caracteres estudados apresentaram efeito recíproco significativo (Tabela 3.2). Este efeito pode ser dividido em efeito materno (MAT), atribuído aos fatores genéticos citoplasmáticos e ao efeito não-materno (NMAT) que pode ser explicado pela interação entre os genes nucleares e efeitos dos genes citoplasmáticos (MUKANGA et al., 2010).

Quando o efeito recíproco ocorre em função do componente materno, este pode persistir durante o avanço das gerações e tem potencial de ser explorado, entretanto, se o efeito recíproco for devido ao componente não-materno, ele pode ser perdido durante as gerações. Em função disso, há necessidade de considerar os fatores nucleares e não nucleares na seleção de plantas, principalmente quando é verificado efeito recíproco, onde é essencial a definição de qual genitor será utilizado como doador ou receptor de pólen (WU; MATHESON, 2001).

A partição relativa da CGC foi de 76,59 e 80,43% para AIE e EPL (Tabela 3.2), respectivamente, revelando que a variância genética aditiva foi o componente mais relevante para estes caracteres, pois os efeitos de CGC foram maiores que os efeitos da CEC (SIBIYA et al., 2011). No entanto, quanto a partição da CGC da MPG (26,38%), NAF (36,12%), EESP (40,94%), NESP (26,20%) e CESP (37,94%), observa-se maior contribuição da CEC para a expressão destes caracteres. Este comportamento demonstra a importância dos efeitos não aditivos para expressão destes caracteres.

A capacidade combinatória dos genótipos, com a presença de genes complementares é responsável pelo sucesso nos programas de melhoramento, onde

a escolha dos genitores utilizados para a formação das populações segregantes é essencial para a obtenção de genótipos superiores (LORENCETTI et al., 2005).

Segundo Jung et al. (2007), a escolha de genitores com a base apenas na avaliação fenotípica é insuficiente para garantir a obtenção de genótipos com elevada taxa de segregantes transgressivos. Desta forma, a escolha de genitores deve ser realizada com base na informação genética e no potencial da capacidade combinatória dos genitores com potencial para produzirem recombinações favoráveis em alta frequência (ALLARD, 1999).

Com relação as estimativas dos efeitos da CGC para a massa de grãos por planta (Tabela 3.3) o genótipo Cep Horizonte apresentou magnitude positiva (0,35) para o caráter, revelando que o intercruzamento desde genótipo com outros grupos possibilita maior acúmulo de alelos favoráveis para expressão de maior massa de grãos por espiga. A massa de grãos por planta constitui um caráter de fundamental importância para determinação do rendimento de grãos, principalmente em condições de baixo número de espigas por unidade de área (GONDIM et al., 2008).

**Tabela 3.3** – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos cinco genitores em relação aos sete caracteres agrônômicos de trigo estudados

Genótipos	$\hat{g}_i$						
	MGP	AIE	EPL	NAF	EESP	NESP	CESP
Tbio Mestre	0,21	-4,25*	-4,59*	-0,37	-0,19*	-0,38*	-0,33*
Mirante	-0,18*	1,22*	1,58*	1,31*	0,04	0,17*	0,35*
Quartzo	0,08	0,59*	0,67*	-1,12*	0,04	0,24*	0,07
Pampeano	-0,46*	1,18*	1,29*	-1,08*	0,04	0,16	0,11
Cep Horizonte	0,35*	1,25*	1,05*	1,26*	0,07*	-0,20*	-0,20*

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t;

†  $\hat{g}_i$  – Efeitos da capacidade geral de combinação; **MGP** – Massa de grãos por planta; **AIE** – Altura de Inserção da Espiga; **EPL** – Estatura de planta; **NAF** – Número de Afilhos Férteis; **EESP** – Espaçamento entre Espiguetas na Espiga; **NESP** – Número de Espiguetas e **CESP** – Comprimento da Espiga.

No que diz respeito aos efeitos da CGC para a altura de inserção da espiga (AIE) e estatura de planta (EPL), os genótipos Mirante, Quartzo, Pampeano e Cep Horizonte possuíram maior frequência alélica positiva de efeitos aditivos, para o aumento destes caracteres. O aumento da altura de inserção da espiga não é uma característica muito desejada, principalmente em genótipos de trigo com baixa resistência de colmo (SOUZA et al., 2013). Desta forma, o fato da espiga estar posicionada mais alta em relação ao nível do solo, exerce uma maior força para o

tombamento, proporcionando acamamento e perdas de colheita e produtividade (CRUZ, 2002).

O genótipo Tbio Mestre apresentou estimativas de CGC com efeitos negativos para AIE ( $\hat{g}_i = -4,25$ ) e EPL ( $\hat{g}_i = -4,59$ ), fator este que possibilita o uso deste genótipo em intercruzamentos com outros grupos de linhagens para reduzir a altura de inserção da espiga e da planta de trigo. A estatura baixa é uma característica essencial, principalmente por estar associada com a maior resistência da planta ao acamamento (SCHEEREN et al., 1981). Vários estudos revelam que a resistência ao acamamento constitui um dos fatores de maior influência ao rendimento de grãos (LAUDE; PAULI, 1956; VOGEL et al., 1956; BOROJEVIC, 1968; McNEAL et al., 1972). Além disso, outras vantagens das cultivares de trigo com porte baixo é o alto potencial produtivo em função do aumento da capacidade produtiva dos afilhos férteis e do grande número, juntamente com a alta fertilidade de espiguetas por espiga (PLARRE, 1975; RAWSON; EVANS, 1971), maior tolerância aos danos causados pelas precipitações e a ação dos ventos (BOROJEVIC, 1968) e o aumento da relação grão/palha (CARVALHO; DOTTO, 1975).

Em relação as estimativas dos efeitos da CGC para o caráter número de afilhos férteis, ocorreram efeitos negativos dos genótipos Quartzo ( $\hat{g}_i = -1,12$ ) e Pampeano ( $\hat{g}_i = -1,08$ ). Já os genótipos Mirante ( $\hat{g}_i = 1,31$ ) e Cep horizonte ( $\hat{g}_i = 1,26$ ) possuíram efeitos positivos da CGC, em que os cruzamentos destes genótipos podem contribuir para o aumento do número de afilhos férteis. A capacidade de afilhamento, é uma característica associada à adaptação aos ambientes desfavoráveis, além de representar um dos mais importantes componentes diretos do rendimento de grãos (VALÉRIO et al., 2009).

Em relação ao espaçamento entre espiguetas na espiga, o genótipo Tbio Mestre revelou redução nas estimativas dos efeitos da CGC para este caráter, indicando que este pode ser utilizado em intercruzamentos com objetivo de reduzir o espaçamento entre espiguetas na espiga.

Tendo em vista a avaliação dos efeitos da CGC para o número de espiguetas por espiga, os genótipos Quartzo ( $\hat{g}_i = 0,24$ ) e Mirante ( $\hat{g}_i = 0,17$ ) apresentaram magnitudes positivas, revelando a possibilidade de utiliza-los em intercruzamentos com outros grupos no intuito de aumentar os alelos favoráveis para elevar o número de espiguetas nas espigas. O aumento do número de espiguetas por espiga é uma estratégia eficiente para elevar o rendimento de grãos do trigo, pois este caráter está

associado ao incremento do número de grãos por espiga, considerado importante componente do rendimento do trigo (RODRIGUES et al., 2011).

Referente ao comprimento de espiga, os genótipos Tbio Mestre ( $\hat{g}_i = -0,33$ ) e Cep Horizonte ( $\hat{g}_i = -0,20$ ) apresentaram redução nas estimativas dos efeitos da CGC para este caráter. O genótipo Mirante ( $\hat{g}_i = 0,35$ ) apresentou efeito positivo para as estimativas da CGC, possibilitando o emprego deste genótipo em cruzamentos com outras constituições genéticas, sendo favorável ao aumento da expressão deste caráter. O comprimento da espiga, é descrito como um importante caráter agrônômico a ser considerado no melhoramento genético do trigo, especialmente por este, encontrar-se associado positivamente com os principais componentes de rendimento (SILVA, 2009).

Os efeitos da CEC podem ser interpretados como o desvio apresentado por um híbrido em relação ao seu desempenho esperado, com base nas capacidades gerais de seus genitores (GOMES et al., 2000). Desta forma, os maiores valores de CEC são atribuídos aos genótipos mais dissimilares nas frequências dos genes com dominância, embora sejam também influenciados pela frequência gênica média do dialelo (ROCHA et al., 2014).

Foram observados efeitos positivos significativos da CEC para o caráter MGP, no cruzamento Tbio Mestre × Pampeano ( $\hat{S}_{ij} = 0,94$ ) e Mirante × Cep Horizonte ( $\hat{S}_{ij} = 0,51$ ) (Tabela 3.4). Para o caráter AIE e APL foram verificados efeitos negativos da CEC nos cruzamentos Mirante × Pampeano ( $\hat{S}_{ij} = -2,81$  e  $\hat{S}_{ij} = -2,40$ , respectivamente), Tbio Mestre × Pampeano ( $\hat{S}_{ij} = -2,10$  e  $\hat{S}_{ij} = -2,02$ , respectivamente) e Quartzo × Cep Horizonte ( $\hat{S}_{ij} = -2,17$  e  $\hat{S}_{ij} = -1,80$ , respectivamente). Com relação ao caráter NAF foram observados efeitos positivos da CEC no cruzamento Pampeano × Cep Horizonte (3,21). Para o caráter EESP os cruzamentos Tbio Mestre × Mirante ( $\hat{S}_{ij} = -0,26$ ) e Tbio Mestre × Quartzo ( $\hat{S}_{ij} = -0,12$ ) apresentaram efeitos da CEC negativos. Ao analisar o NESP, observou-se efeito positivo da CEC no cruzamento Mirante × Cep Horizonte ( $\hat{S}_{ij} = 0,65$ ) e para o caráter CESP, os cruzamentos Mirante × Pampeano ( $\hat{S}_{ij} = 0,41$ ) e Quartzo × Cep Horizonte ( $\hat{S}_{ij} = 0,38$ ) revelaram estimativas de CEC positivas (Tabela 3.4).

As estimativas dos efeitos da CEC positivas indicam que os desvios de dominância são positivos, ou seja, remetem a genes dominantes que contribuem para aumentar a expressão do caráter. Entretanto valores da CEC próximos a zero, ou não significativos, revelam que a heterose presente nos híbridos/populações também será

próxima deste (BORDALLO et al., 2005). Segundo Kostetzer et al. (2009), quando os efeitos da CEC significativos forem positivos, indicam que estas combinações apresentam incremento, e quando negativos tendem a reduzir a magnitude dos caracteres, a qual não pode ser explicada pelas médias dos pais e suas capacidades gerais de combinação.

**Tabela 3.4** – Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) para sete caracteres agrônômicos de trigo resultante dos cruzamentos 5 × 5 genitores de trigo

Genótipos		$\hat{S}_{ij}$						
<i>I</i>	<i>J</i>	MGP	AIE	EPL	NAF	EESP	NESP	CESP
Tbio Mestre	× Mirante	0,68	1,63*	1,80*	0,82	-0,26*	0,08	0,17
Tbio Mestre	× Quartzo	-1,31*	2,23*	0,30	0,74	-0,12*	-0,49*	0,07
Tbio Mestre	× Pampeano	0,94*	-2,10*	-2,02*	0,45	0,13*	-0,25	0,08
Tbio Mestre	× Cep Horizonte	-0,11	0,24	0,57	-1,41	-0,09	0,26	0,34
Mirante	× Quartzo	0,08	0,10	-0,66	-0,24	0,25*	-0,82*	-0,77*
Mirante	× Pampeano	-1,21*	-2,81*	-2,40*	-4,14*	0,06	0,01	0,41*
Mirante	× Cep Horizonte	0,51*	2,35*	2,58*	1,46	0,22*	0,65*	0,23
Quartzo	× Pampeano	-0,23	0,74	0,83	-1,74*	-0,07	0,33	0,09
Quartzo	× Cep Horizonte	0,87*	-2,17*	-1,80*	1,25	-0,02	-0,97*	0,38*
Pampeano	× Cep Horizonte	0,34*	1,92*	0,90	3,21*	-0,08	0,06	-1,02*

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t;

† *I* – Genitor feminino; *J* – Genitor masculino;  $\hat{S}_{ij}$  – Efeitos da capacidade específica de combinação; **EMGP** – Massa de grãos por planta; **AIE** – Altura de Inserção da Espiga; **EPL** – Estatura de planta; **NAF** – Número de Afilhos Fértis; **EESP** – Espaçamento entre Espiguetas na Espiga; **NESP** – Número de Espiguetas e **CESP** – Comprimento da Espiga.

Os resultados das estimativas dos efeitos recíprocos e o seu desdobramento estão dispostos nas Tabelas 3.5 e 3.6. Em razão da relação presente destes efeitos, os mesmos serão descritos e discutidos simultaneamente.

Não foram identificadas combinações recíprocas que aumentassem a massa de grãos por planta, no entanto, o cruzamento Tbio Mestre × Cep Horizonte ( $\hat{r}_{ij} = -1,24$ ), tendo o Cep Horizonte como genitor feminino e o cruzamento Quartzo × Pampeano ( $\hat{r}_{ij} = -1,34$ ), com o Pampeano como genitor feminino (Tabela 3.5), revelaram efeitos negativos, o que não se torna favorável aos aspectos relacionados ao caráter, pois reduzem a massa de grãos por planta de trigo.

**Tabela 3.5** – Estimativas dos efeitos recíprocos para sete caracteres agrônômicos de trigo resultante dos cruzamentos 5 × 5 genitores de trigo

Genótipos		$\check{r}_{ij}$						
<i>J</i>	<i>I</i>	MGP	AIE	EPL	NAF	EESP	NESP	CESP
Tbio Mestre	× Mirante	-0,78	0,88	0,97	0,75	0,18*	-0,48*	0,09
Tbio Mestre	× Quartzo	0,02	-1,31*	-1,10	-0,85	0,39*	0,24	0,21
Tbio Mestre	× Pampeano	-0,75	-3,16*	-3,60*	-1,76	-0,02	0,11	-0,44*
Tbio Mestre	× Cep Horizonte	-1,24*	1,59*	1,27	-5,44*	0,30*	0,19	-0,32
Mirante	× Quartzo	0,12	-0,15	0,59	1,01	-0,10	1,26*	0,74*
Mirante	× Pampeano	0,16	1,92*	2,04*	1,34	-0,15*	0,04	0,12
Mirante	× Cep Horizonte	0,15	0,01	0,47	0,96	0,25*	0,98*	0,46*
Quartzo	× Pampeano	-1,34*	-1,78*	-2,32*	-4,49*	-0,02	0,65*	-0,54*
Quartzo	× Cep Horizonte	0,46	-1,37*	-1,32	2,75*	0,29*	-0,20	0,05
Pampeano	× Cep Horizonte	-0,74	2,40*	0,65	0,35	-0,57*	0,23	-1,75*

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t;

† *I* – Genitor feminino; *J* – Genitor masculino;  $\check{r}_{ij}$  – Efeito Recíproco; **MGP** – Massa de grãos por planta; **AIE** – Altura de Inserção da Espiga; **EPL** – Estatura de planta; **NAF** – Número de Afilhos Fértis; **EESP** – Espaçamento entre Espiguetas na Espiga; **NESP** – Número de Espiguetas e **CESP** – Comprimento da Espiga.

O efeito recíproco negativo significativo para Tbio Mestre × Cep Horizonte, possivelmente ocorreu em razão do efeito materno negativo significativo (Tabela 3.6) do genitor Tbio Mestre (-0,55). Já, para a combinação Quartzo × Pampeano os efeitos recíprocos negativos significativos podem estar relacionados com efeitos gênicos não maternos que são negativos e significativos da combinação Quartzo × Pampeano (-0,78) (Tabela 3.6). Estes resultados corroboram com pesquisa realizada por Schmidt (2008), o qual estudando a capacidade de combinação e recíprocos para caracteres de importância em seis cultivares de trigo, verificou que a massa de grãos por planta foi influenciada expressivamente pela manifestação dos efeitos maternos, de herança extra cromossômica ou interação de genes do núcleo com genes do citoplasma.

A redução do caráter AIE foi alcançada com as combinações Tbio Mestre × Quartzo ( $\check{r}_{ij}$  = -1,31) e Tbio Mestre × Pampeano ( $\check{r}_{ij}$  = -3,16) utilizando o genótipo Tbio Mestre como genitor masculino e as combinações Quartzo × Pampeano ( $\check{r}_{ij}$  = -1,78) e Quartzo × Cep Horizonte ( $\check{r}_{ij}$  = -1,37) (Tabela 3.5), ambos com o genótipo Quartzo sendo utilizado como doador de pólen.

**Tabela 3.6** – Estimativas do efeito materno (MAT) e não materno (NMAT) para sete caracteres agrônômicos de trigo dos genitores e dos cruzamentos 5 × 5 genitores de trigo

Genótipos	Efeito Materno							
	MGP	AIE	EPL	NAF	EESP	NESP	CESP	
Tbio Mestre	-0,55*	-0,40	-0,49	-1,46*	0,17*	0,01	-0,09	
Mirante	0,24	0,18	0,43	0,51	-0,04	0,55*	0,25*	
Quartzo	-0,16	-0,34	-0,63*	-0,38	-0,01	-0,21*	-0,29*	
Pampeano	0,20	1,08*	0,90*	1,05*	-0,07*	-0,11	-0,18*	
Cep Horizonte	0,27	-0,53*	-0,21	0,27	-0,05*	-0,24*	0,31*	
Genitores		Efeito Não Materno						
I	J							
Tbio Mestre × Mirante		0,01	1,46*	1,88*	2,72*	-0,03	0,06	0,43*
Tbio Mestre × Quartzo		0,41	-1,25*	-1,23*	0,23	0,22*	0,02	0,01
Tbio Mestre × Pampeano		-0,01	-1,68*	-2,20*	0,75	-0,26*	-0,01	-0,53*
Tbio Mestre × Cep Horizonte		-0,42	1,46*	1,55*	-3,70*	-0,05	-0,06	0,08
Mirante × Quartzo		-0,29	-0,67	-0,46	0,12	-0,07	0,50*	0,21
Mirante × Pampeano		0,11	2,82*	2,52*	1,88*	-0,19*	-0,63*	-0,30
Mirante × Cep Horizonte		0,18	-0,70	-0,17	0,72	0,23*	0,19	0,53*
Quartzo × Pampeano		-0,78*	-0,36	-0,79	-3,06*	-0,09	0,75*	-0,43*
Quartzo × Cep Horizonte		0,90*	-1,56*	-0,91	3,41*	0,24*	-0,23	0,65*
Pampeano × Cep Horizonte		-0,67*	0,79*	-0,47	-0,43	-0,55*	0,10	-1,26*

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t;

† I – Genitor feminino; J – Genitor masculino; MGP – Massa de grãos por planta; AIE – Altura de Inserção da Espiga; EPL – Estatura de planta; NAF – Número de Afilhos Fértis; EESP – Espaçamento entre Espiguetas na Espiga; NESP – Número de Espiguetas e CESP – Comprimento da Espiga.

O efeito recíproco significativo verificado para Tbio Mestre × Quartzo e Tbio Mestre × Pampeano, pode ter ocorrido em função do componente recíproco não-materno significativo apresentado pelos cruzamentos Tbio Mestre × Quartzo (-1,25) e Tbio Mestre × Pampeano (-1,68) (Tabela 3.6), respectivamente. Já, o efeito recíproco observado para a combinação Quartzo × Cep Horizonte, possivelmente ocorreu devido ao efeito recíproco materno significativo do genótipo Cep Horizonte (-0,53) (Tabela 3.6).

Se o objetivo for a redução da estatura da planta de trigo, devem ser utilizadas as combinações Tbio Mestre × Pampeano ( $\check{r}_{ij} = -3,60$ ) e Quartzo × Pampeano ( $\check{r}_{ij} = -2,32$ ) (Tabela 3.5), ambas utilizando o genótipo Pampeano como receptor de pólen. Este comportamento provavelmente foi obtido, para Tbio Mestre × Pampeano, em

função do efeito recíproco não-materno significativo observado para o cruzamento Tbio Mestre × Pampeano (-2,20) (Tabela 3.6) e para Quartzo × Pampeano, em função do efeito recíproco materno apresentado pelo genótipo Quartzo (-0,63) (Tabela 3.6).

Quando deseja-se aumentar o número de afilhos férteis deve ser priorizada a combinação Quartzo × Cep Horizonte ( $\check{r}_{ij}= 2,75$ ), sendo o Cep horizonte utilizado como genitor feminino (Tabela 3.5). Este desempenho possivelmente esteja atrelado ao efeito recíproco não-materno significativo evidenciado pelo cruzamento Quartzo × Cep Horizonte (3,41) (Tabela 3.6).

Quando deseja-se reduzir o espaçamento entre espiguetas na espiga, deve-se priorizar as combinações Pampeano × Cep Horizonte ( $\check{r}_{ij}= -0,57$ ), onde o genótipo Cep horizonte deve ser utilizado como genitor feminino e a combinação Mirante × Pampeano ( $\check{r}_{ij}= -0,15$ ), com o genótipo Pampeano utilizado como mãe (Tabela 3.5). Quando se trata da combinação Pampeano × Cep Horizonte, observa-se que o efeito recíproco pode ter ocorrido em função do efeito materno apresentado pelos genótipos Pampeano (-0,07) e Cep Horizonte (-0,05) (Tabela 3.6). Já o efeito recíproco observado para a combinação Mirante × Pampeano provavelmente está relacionado ao efeito não-materno significativo apresentado por esta combinação (Tabela 3.6).

Quando se busca o incremento do número de espiguetas nas espigas de trigo, deve se utilizar a combinação Quartzo × Pampeano ( $\check{r}_{ij}= 0,65$ ), com o Pampeano como genitor feminino e as combinações Mirante × Quartzo ( $\check{r}_{ij}= 1,26$ ) e Mirante × Cep Horizonte ( $\check{r}_{ij}= 0,98$ ), com o genótipo Mirante sendo utilizado como genitor masculino (Tabela 3.5). Quando se trata do cruzamento Quartzo × Pampeano, observa-se que o efeito recíproco possivelmente expressou-se em função dos efeitos não-maternos apresentados por esta combinação (Tabela 3.6). Já o efeito recíproco para as combinações Mirante × Quartzo e Mirante × Cep Horizonte, possivelmente ocorreu devido ao efeito materno apresentado pelo genótipo Mirante (0,55), o qual é comum as duas combinações (Tabela 3.6).

Quando se prioriza o aumento do comprimento da espiga do trigo, pode-se lançar mão das combinações Mirante × Quartzo ( $\check{r}_{ij}= 0,74$ ) e Mirante × Cep Horizonte ( $\check{r}_{ij}= 0,46$ ), ambas com o genótipo Mirante sendo utilizada como genitor masculino (Tabela 3.5). O efeito recíproco significativo revelado para Mirante × Quartzo, pode ser explicado pelo efeito materno significativo apresentado pelo genótipo Mirante (0,25) e para a combinação Mirante × Cep Horizonte, pelo efeito materno revelado pelo Cep Horizonte (0,31) (Tabela 3.6).

### **3.4 Conclusão**

O genitor Cep Horizonte apresenta elevada capacidade de combinação para massa de grãos por planta. Quartzo e Mirante maximizaram o número de espiguetas por espiga e comprimento de espiga, respectivamente, e Tbio Mestre mostrou-se promissor na redução da altura de inserção da espiga, estatura de planta e espaçamento entre espiguetas na espiga. Para os cruzamentos realizados existem combinações híbridas favoráveis para pelo menos uma das características avaliadas com base da capacidade específica de combinação. O estudo do efeito recíproco demonstra que há diferença quando um genótipo é utilizado como doador ou receptor de pólen, pois há efeito citoplasmático e de genes nucleares do genitor feminino nos caracteres avaliados.

### 3.5 Referências Bibliográficas

- ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. New York: John Wiley, 1999. 485 p.
- AL-NAGGAR, A. M. M.; SHABANA, R.; EL-ALEEM, M. M. A.; EL-RASHIDY, Z. A. Heterobeltiosis in Wheat (*Triticum aestivum* L.) F<sub>1</sub> Diallel Crosses under Contrasting Soil-N Conditions. **British Biotechnology Journal**, v. 10, n. 4, p. 1-12, 2016.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.
- BALDISSERA, J. N. C.; VALENTINI, G.; COM, M. M. D.; ALMEIDA, C.B.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. F. M. Capacidade combinatória e efeito recíproco em características agronômicas do feijão. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 471-480, 2012.
- BARETTA, D.; NARDINO, M.; KONFLANZ, V. A.; CARVALHO, I. R.; BUSANELO, C.; OLIVEIRA, A. C.; SOUZA, V. Q.; MAIA, L. C. Partial diallel analysis between maize inbred lines. **Científica**, v. 44, p. 71, 2015.
- BARROSO, P. A. V.; HOFFMANN, L. V. Métodos de predição do comportamento de populações de melhoramento. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, 2003. 38 p.
- BENIN, G.; SILVA, G. O. da; PAGLIOSA, E. S.; LEMES, C.; SIGNORINI, A.; BECHE, E.; CAPELIN, M. A. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1145-1151, 2009.
- BHULLAR, G. S.; GILL, K. S.; KHEHRA, A. S. Combining ability analysis over F<sub>1</sub>-F<sub>5</sub> generations in diallel crosses of bread wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 55, p. 77-80, 1979.
- BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M. G.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GABRIEL, A. P. C. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agronômicos e proteína total. **Horticultura brasileira**, v. 23, n. 1, 2005.
- BOROJEVIC, S. Characteristics of some new dwarf and semidwarf wheat lines. **Euphytica**, v. 17, n. 1, p. 143-51, 1968.
- CARVALHO, F. I. F.; DOTTO, S. R. Competição de genótipos de trigo. In: **Resultados dos trabalhos experimentais desenvolvidos na Estação Experimental Agronômica/UFRGS**. S.i, s.ed., 1975.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, P. J. **Genética do acamamento em trigo (*Triticum aestivum* L.) e a identificação do caráter para a seleção**. 2002, 107 f. Tese (Doutorado em Genético e Biologia Molecular) - Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FAROOQ, M.; KHAN, A. S.; SALEEM, B.; IJAZ, F.; SHAHZAD, M. T. Diallel analysis to study gene action for some polygenic traits in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Modern Agriculture**, v. 3, n. 2, p. 34-38, 2014.

FEDERER, W. T. Augmented designs. **Hawaiian Planter's Record**, v. 55, p. 191-208, 1956.

GOMES, M. S.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; VIEIRA, M. G. G. C. Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica. **Ciência Agrotécnica**, v. 24, p. 41-49, 2000.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SILVÉRIO, L.; ELIAS, H. T.; VIDIGAL FILHO, O. S.; KITSCHAL, M. V.; RETUCI, V. S.; SILVA, C. R. da. Combining ability and heterosis in common bean cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1143-1150, 2008.

GONDIM, T. C. O.; ROCHA, V. S.; SEDIYAMA, C. S.; MIRANDA, G. V. Análise de trilha para componentes do rendimento e caracteres agronômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 4, p. 487-493, 2008.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, p. 463-493, 1956.

JUNG, M. S.; VIEIRA, E. A.; BRANCKER, A.; NODARI, R. O. Capacidade geral e específica de combinação de caracteres do fruto do maracujazeiro doce (*Passiflora alata* Curtis). **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 963-969, 2007.

KOSTETZER, V.; MOREIRA, R. M. P.; FERREIRA, J. M. Cruzamento dialélico parcial entre variedades locais do Paraná e variedades sintéticas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1152-1159, 2009.

KOTZAMANIDIS, S. T.; LITHOURGIDIS, A. S.; MAVROMATIS, A. G.; CHASIOTI, D. I.; ROUPAKIAS, D. G. Prediction criteria of promising F<sub>3</sub> populations in durum wheat: a comparative study. **Field Crops Research**, v. 107, p. 257-264, 2008.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; ASSMANN, I. C.; CRUZ, P. J. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 645-651, 2001.

LAUDE, H. H.; PAULI, A. Influence of lodging on yield and other characters in winter wheats. **Agronomy Journal**, v. 48, n. 10, p. 452-5, 1956.

LORENCETTI, C.; CARVALHO, F. I. F.; BENIN, G.; MARCHIORO, V. S.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; HARTWIG, I.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.

Capacidade combinatória e heterose em cruzamento dialélico de aveia (*Avena sativa* L.) **Revista Brasileira Agrociência**, v. 11, n. 2, p. 143-148, 2005.

MASOOD, M. S.; KRONSTAD, W. E. Combining ability analysis over various generations in a diallel cross of bread wheat. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, v. 16, p. 1-4, 2000.

MCNEAL, E. H.; BERG, M. A.; STEWART, V. R.; BALDRIDGE, D. E. Agronomic response of three height classes of spring wheat, *Triticum aestivum* L., compared at different yield levels. **Agronomy Journal**, v. 64, n. 3, p. 362-4, 1972.

MUKANGA, M.; DERERA, J.; TONGOONA, P. Gene action and reciprocal effects for ear rot resistance in crosses derived from five tropical maize populations. **Euphytica**, v. 174, n. 2, p. 293-301, 2010.

NARDINO, M.; SOUZA, V. Q.; BARETTA, D.; KONFLANZ, V. A.; FOLLMANN, D. N.; CARVALHO, I. R.; FERRARI, M.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. Partial diallel analysis among maize lines for characteristics related to the tassel and the productivity. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 974-982, 2016.

PÁDUA, T. R. P.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; DE CARVALHO FILHO, J. L. S.; NETO, Á. C. G.; ANDRADE, M. C. Capacidade combinatória de híbridos de tomateiro de crescimento determinado, resistentes a *Begomovirus* e *Tospovirus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 818-825, 2010.

PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P.; BRESEGHELLO, F. Análise da heterose de cruzamentos entre variedades de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1135-1142, 2008.

PIMENTEL, A. J. B.; SOUZA, M. A. D.; CARNEIRO, P. C. S.; ROCHA, J. R. D. A. S.; MACHADO, J. C.; RIBEIRO, G. Análise dialélica parcial em gerações avançadas para seleção de populações segregantes de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 12, p. 1555-1561, 2013.

PLARRE, W. Cultivation of wheat and barley in tropics and subtropics. **Plant Research and Development**, v. 2, p. 67-79, 1975.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RAWSON, F. I. M.; EVANS, L. T. 11w contribution of stem reserves to grain development in a range of wheat cultivars of different height. **Australian Journal Agricultural Research**, v. 22, p. 851-68, 1971.

RCBPTT, **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2015**. VIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale – Brasília, DF: Embrapa, 2014.

RIBEIRO, G.; SILVEIRA, G. da; CRESTANI, M.; NORBERG, R.; LUCHE, S. H.; MEZZALIRA, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Diallel analysis in White oat cultivar subjected to water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 125-132, 2011.

ROCHA, F.; STINGHEN, J. C, GEMELI, M. S.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Análise dialélica como ferramenta na seleção de genitores em feijão. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 74-81, 2014.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; COSTENARO, E. R.; SANA, D. Ecofisiologia de trigo: bases para o elevado rendimento de grãos. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Ed.). **Trigo no Brasil: Bases para a produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 427-451, 2011.

RODRIGUES, R.; LEAL, N. R.; PEREIRA, M. G. Análise dialélica de seis características agrônômicas em *Phaseolus vulgaris* L. **Bragantia**, v. 57, n. 2, p. 241-250, 1998.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SCHEEREN, P. L.; CARVALHO, F. I. F.; FEDERIZZI, L. C. Componentes da estatura de planta em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 16, n. 4, p. 527-538, 1981.

SCHMIDT, D.A.M. **Capacidade combinatória e modificações de ambiente na expressão dos componentes do rendimento de grãos e da qualidade industrial em trigo**. 2008. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Pelotas, 2008.

SIBIYA, J.; TONGOONAA, P.; DERERAA, J.; RIJB, N. V.; MAKANDA, I. Combining ability analysis for Phaeosphaeria leaf spot resistance and grain yield in tropical advanced maize inbred lines. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 86-93, 2011.

SILVA, A. H. da. **Avaliação de genótipos de trigo duro quanto à produção de grãos e outros caracteres agrônômicos no Estado de São Paulo**. 2009. 164 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Agrônomo, Campinas, 2009.

SILVA, M. P.; JÚNIOR, A. T. A.; RODRIGUES, R.; DAHER, R. F.; LEAL, N. R.; SCHUELTER, A. R. Análise dialélica da capacidade combinatória em feijão-de-vagem. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 277-280, 2004.

SOUZA, V. Q.; NARDINO, M.; BONATO, G. O.; BAHRY, C. A.; CARON, B. O.; ZIMMER, P. D.; SCHMIDT, D. Desfolha em diferentes estádios fenológicos sobre

características agronômicas em trigo. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1905-1911, 2013.

TORRES, E. A.; GERALDI, I. O. Partial diallel analysis of agronomic characters in rice (*Oryza sativa* L.). **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, p. 605-613, 2007.

TRINDADE, R. S.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; RODRIGUES, R.; VIANA, J. M. S.; PEREIRA, M. G.; GONÇALVES, L. S. A. Combining ability for morphoagronomic traits in common bean and snap bean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 29, p. 6240-6245, 2011.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; LORENCETTI, C.; SOUZA, V. Q.; SILVA, J. A. G.; HARWING, I.; SCHMIDT, A. M.; BERTAN, I.; RIBEIRO, G. Estabilidade da produção e da capacidade de combinação de diferentes populações de aveia. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, p. 331-346, 2009.

VOGEL, O. A.; CRADDOCK JUNIOR, J. C.; MUIR, C. E.; EVERSON, E. H.; ROHDE, C.L. Semidwarf growth habit la winter wheat improvement for the pacific northwest. **Agronomy Journal**, v. 48, n. 2, p. 76-8, 1956.

WU, H. X.; MATHESON, A. C. Reciprocal, maternal and nonmaternal effects in radiata pine diallel mating experiment on four Australia sites. **Forest genetics**, v. 8, n. 3, p. 205-212, 2001.

ZHANG, K.; KANG, M. S.; LAMKEY, K. R. DIALLELSAS05: a comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 8, p. 1097-1106, 2005.

## 4 CAPÍTULO III

### ANÁLISE DE TRILHA EM TRIGO SOB DIFERENTES MANEJOS DE NITROGÊNIO

#### 4.1 Introdução

O trigo é o segundo cereal mais produzido no mundo e sua importância é justificada pela grande demanda de seus derivados, destinados especialmente a produção de farinhas e rações (PINNOW et al., 2013). A região Sul do Brasil, é responsável por mais de 90% da produção nacional, com destaque para os estados do Paraná e Rio Grande do Sul, com produção em torno de 6 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

O sucesso da produtividade da cultura do trigo está relacionado com os fatores bióticos e abióticos, entre esses destacam-se o genótipo, as condições climáticas e a fertilidade do solo. Com relação a fertilidade, o nitrogênio é um nutriente requerido em quantidades elevadas (KUTMAN et al., 2011), exercendo forte influência na produtividade e nos demais componentes de produção (BENIN et al., 2012; XU et al., 2012). No entanto, do total de nitrogênio mineral aplicado na cultura, em torno de 40 a 60% é aproveitado pela planta e utilizado pelo metabolismo para desempenhar as funções metabólicas e maximizar o desempenho produtivo (BARRACLOUGH et al., 2010; GÓRNY et al., 2011).

No melhoramento genético, o estudo das associações entre os caracteres é relevante, pois com base nestas associações é possível obter um indicativo de como o pesquisador deve atuar na seleção indireta de indivíduos. Desta forma, as associações indicam a possibilidade de obter-se ganhos por seleção em caracteres correlacionados, uma vez que os caracteres de baixa herdabilidade ou de difícil mensuração, podem ser mais eficientemente selecionados quando a seleção é baseada em caracteres de maior herdabilidade e que apresentam altas magnitudes de correlação (CRUZ; REGAZZI, 1997). Segundo Paterniani e Campos (2005),

quando se utiliza a correlação entre caracteres aumenta-se significativamente a eficiência da seleção de um caráter.

A análise de correlação linear de *Pearson* é uma ferramenta utilizada para definir a tendência de associações lineares entre os pares de caracteres. No entanto, sua interpretação direta pode acarretar em erros nas interpretações, tornando-se crucial o desdobramento das relações lineares em associações de causa e efeito através da análise de trilha (WRIGHT, 1921), a qual possibilita determinar os efeitos diretos e indiretos dos caracteres explicativos sobre o caráter dependente (CRUZ et al., 2014).

Vários trabalhos são encontrados na literatura com objetivo de entender as associações lineares e de causa e efeito dos componentes de rendimento de grãos da cultura do trigo (SILVA et al., 2005; VIEIRA et al., 2007; GONDIM et al., 2008; KAVALCO et al., 2014), entretanto, são escassos os estudos abordando o comportamento das associações entre o rendimento de grãos do trigo e seus componentes sob diferentes manejos de adubação nitrogenada. Devido a isso, o objetivo deste trabalho foi revelar as associações de causa e efeito entre os componentes e o rendimento de grãos em função de diferentes manejos de nitrogênio.

## 4.2 Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido nos anos de 2012 e 2013 na Universidade Federal de Santa Maria *Campus* de Frederico Westphalen – RS, na área experimental do Laboratório de Melhoramento Genético e Produção de Plantas - LMGPP, nas coordenadas correspondentes à 27°23'48,17"S e 53°25'34,82"O e altitude de 460 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2006) e o clima é caracterizado por Köppen como *Cfa* subtropical (ALVARES et al., 2013).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, organizado em esquema de parcelas subdivididas, contendo três genótipos, duas fontes nitrogenadas e quatro manejos de nitrogênio em cobertura. Os genótipos utilizados foram: Fundacep 52, TBIO Mestre e TBIO Itaipu. As fontes nitrogenadas empregadas foram: Ureia (45% de nitrogênio) e Nitrato de amônia (33,5% de nitrogênio) e os manejos de nitrogênio foram: I: ausência de nitrogênio, II: 100% no afilhamento, III: 50% no afilhamento e 50% no emborrachamento e VI: 33,3% no afilhamento, 33,3% no emborrachamento e 33,3% no florescimento.

**Tabela 4.1** – Atributos químicos do solo

Prof. (cm)	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC <sub>efet.</sub>	Saturação (%)	
							Al	Bases
0 – 10	6,8	9,6	5,5	0,0	2,8	15,6	0,0	85,1
10 – 20	6,4	8,6	4,8	0,0	3,1	13,7	0,0	81,4

	% MO	% Argila	CTC <sub>pH7</sub>	S	P <sub>Mehlich</sub>	K	Zn	B
0 – 10	3,8	69,0	18,4	16,8	5,6	220,0	7,4	0,3
10 – 20	3,3	79,0	16,8	20,6	2,5	128,0	4,1	0,3

As unidades experimentais foram compostas por 12 linhas com espaçamento de 0,17 m entre linha e com 3,5 m de comprimento, totalizando 7,14 m<sup>2</sup>. Para as avaliações coletaram-se as oito linhas centrais e eliminou-se 0,5 m nas extremidades. A semeadura foi realizada em 2012, no dia 25 de maio e em 2013, no dia 10 de julho. A adubação de base utilizada foi 200 Kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK (08-24-12). Em cobertura foram aplicados 115 Kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio para todos os manejos. A população média de plantas estabelecida foi de 310 plantas m<sup>-2</sup>.

Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do trigo. Quanto ao controle de pragas e doenças, foram realizadas aplicações de inseticida e fungicida de acordo com a severidade do ataque de ambos, definindo-se o produto de acordo com a moléstia identificada, em observações constantes ao longo do ciclo da cultura.

Os caracteres avaliados foram:

Massa de Mil Grãos – MMG: aferida pela contagem manual de oito repetições de 100 grãos, expandindo-se para a massa de mil grãos em gramas (g).

Número de Grãos por Espiga – NGE: efetuado através da contagem do número de grãos presentes na espiga principal, resultados em unidades.

Massa de Grãos na Espiga Principal – MGEP: efetuada através da pesagem total dos grãos obtidos de cada planta, resultados expressos em g.

Rendimento de grãos – RG: determinado através da massa média de grãos por planta e corrigida pela densidade de semeadura, resultados em quilogramas por hectare (kg ha<sup>-1</sup>).

Estatura de Planta – EPL: determinada através da mensuração da base da espiga até a extremidade superior da mesma, resultados expressos em centímetros (cm)

Número de Afilhos Fértéis – NAF: efetuada quatro semanas após a antese das panículas, computando o número de afilhos com espiga presente, resultados expressos em unidades.

Comprimento da Espiga – CESP: efetuado através da medição da base da espiga até a extremidade superior, resultados expressos em cm.

Os dados obtidos foram submetidos ao diagnóstico de normalidade univariada dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965). Posteriormente realizou-se uma análise conjunta para identificar a presença de interação entre ambientes de cultivo, genótipos, fontes e manejos de adubação nitrogenada a 5% de probabilidade. Após realizou-se a correlação linear de Pearson com intuito de evidenciar a tendência linear de associação entre os caracteres (CARVALHO et al., 2004).

Os coeficientes de correlação de Pearson são idênticos aos coeficientes de correlação fenotípicos. O cálculo dos coeficientes de correlação foi realizado conforme descrito por Steel e Torrie (1980) por meio da equação:

$$r_{P(xy)} = \frac{COV_{P(XY)}}{\sqrt{\sigma_{P(X)} * \sigma_{P(Y)}}}$$

Onde,

$COV_{P(XY)}$  = covariância fenotípica entre os caracteres X e Y;

$\sigma_{P(X)}; \sigma_{P(Y)}$  = desvio padrão dos caracteres X e Y.

A hipótese foi testada ao nível de 95% de significância pelo teste t descrito por Steel e Torrie (1980).

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}$$

Onde,

r = coeficiente de correlação entre os caracteres X e Y;

n = graus de liberdade.

Os coeficientes de correlação fenotípicos foram desdobrados em efeito direto e indireto dos componentes de rendimento do trigo (variáveis independentes do modelo de regressão) sobre o rendimento de grãos (variável dependente) por meio da análise de trilha (WRIGHT, 1921).

O cálculo dos efeitos diretos e indiretos da análise de trilha de uma cadeia foi realizado conforme descrito por Cruz e Carneiro (2006) por meio do modelo:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Onde,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  são as variáveis explicativas e  $Y$  a variável-base (ou variável dependente).

Assim, de forma generalizada, os coeficientes de trilha foram estimados, baseando-se no sistema de equações  $X'X\beta = X'Y$  (LI, 1975), sendo;

$$X'Y = \begin{pmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ \vdots \\ r_{ny} \end{pmatrix}, X'X = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1n} & r_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \text{ e } \beta = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix}$$

Desta forma, realizando a decomposição da correlação entre a variável dependente e as variáveis explicativas da seguinte forma (CRUZ; CARNEIRO, 2006):

$$r_{1y} = p_1 + p_2 r_{12} + \dots + p_n r_{1n}$$

$$r_{2y} = p_1 r_{12} + p_2 + \dots + p_n r_{2n}$$

$$\dots \quad \dots \quad \dots$$

$$r_{ny} = p_1 r_{1n} + p_2 r_{2n} + \dots + p_n$$

$$r_{iy} = p_i + \sum_{j \neq i}^n p_j r_{ij}$$

Onde,  $r_{iy}$ : correlação entre a variável principal selecionada pelo pesquisador ( $y$ ) e a  $i$ -ésima variável explicativa;  $p_i$ : medida do efeito direto da variável  $i$  sobre a variável principal;  $p_i r_{ij}$ : medida do efeito indireto da variável  $i$ , via variável  $j$ , sobre a variável principal.

O coeficiente de determinação do diagrama de trilha é dado por:

$$R^2 = p_1 r_{1y} + p_2 r_{2y} + \dots + p_n r_{ny}$$

O efeito residual é estimado através:

$$p_\varepsilon = \sqrt{1 - R^2}$$

O grau de multicolinearidade da matriz  $X'X$  foi estabelecido com base no seu número de condição (NC), onde foi classificado como fraco ( $NC < 100$ ), moderado a forte ( $100 < NC < 1000$ ) e severo ( $NC > 1000$ ) (MONTGOMERY; PECK, 1981). As análises foram efetuadas com auxílio do programa computacional GENES (CRUZ, 2013) e por meio do programa SAS versão 9.3 (2013).

### 4.3 Resultados e Discussão

A análise de variância conjunta revelou significância ( $p < 0,05$ ) para a interação ano de cultivo x genótipo x manejo de nitrogênio apenas para o caráter NAF, para a interação ano x genótipo efeito significativo para os caracteres MGEP, NAF e CESP, para o fator genótipo, efeito significativo para os caracteres MMG, MGEP, EPL, NAF e CESP, para o fator ano, efeito significativo para os caracteres MMG, NGE, MGEP, RG, EPL e NAF, para o fator manejo de nitrogênio foram observados efeitos significativos para os caracteres NGE, MGEP, RG, EPL e CESP, ao passo que para o caráter MMG não foi encontrado efeito significativo para este fator (Tabela 4.2).

Os coeficientes de variação estimados foram satisfatórios para os caracteres mensurados no experimento segundo a classificação de Pimentel Gomes (2009), revelando bom nível de precisão no experimento a campo, com exceção ao caráter NAF.

Quando a seleção de genótipos é realizada a campo, esta leva em consideração apenas o fenótipo, desta forma, caracteres genotípicos, mas que não apresentam uma associação fenotípica podem não apresentar um valor prático de seleção (CABRAL et al., 2011). Em função disso, no presente estudo, optou-se por estimar somente as correlações fenotípicas e seus desdobramentos em efeitos direto e indiretos, pois são estas que o melhorista realmente manipula (BARETTA et al., 2016).

A análise de correlação linear de *Pearson* tem a finalidade de identificar a tendência linear entre os caracteres, sendo expressa por coeficientes que compreendem magnitudes de 0 a 1, e sentidos positivos ou negativos. Estes coeficientes são classificados como nulos ( $r = 0,00$ ), baixos ou fracos ( $r = 0,00$  a  $r = 0,30$ ), intermediários ou médios ( $r = 0,30$  a  $r = 0,60$ ); altos ou fortes ( $r = 0,60$  a  $r = 1,00$ ) segundo classificação de Carvalho et al. (2004).

**Tabela 4.2** – Resumo da análise de variância para sete componentes do rendimento do trigo em dois anos de cultivo, três genótipos, dois fontes e quatro manejos de nitrogênio

FV	GL	Quadrados Médios						
		MMG	NGE	MGEP	RG	EPL	NAF	CESP
Bloco	2	6,36	144,32	2,26	5,32	23,29	0,30	0,26
Genótipo	2	61,45*	2.739,12	6,59*	26,89	321,21*	2,17*	6,56*
Resíduo A	4	0,65	1.330,86	1,21	9,39	12,19	0,10	0,03
Parcela	8	17,28	1.386,29	2,82	19,93	92,22	0,67	2,47
Ano	1	95,5*	28.683,32*	177,71*	59,87*	1.208,95*	3,99*	0,75
Ano*Genótipo	2	1,53	787,31	5,82*	3,07	14,4	0,53*	3,44*
Fonte (Manejo)	7	3,17	3.940,09*	4,75*	46,74*	40,56*	0,35*	1,61*
Ano*Fonte (Manejo)	7	0,81	914,56	0,82	13,47	15,26	0,34*	0,23
Genótipo*Fonte (Manejo)	14	1,25	467,57	1,31	9,74	10,57	0,14	0,15
Ano*Genótipo*Fonte (Manejo)	14	0,95	1.331,69	2,77*	10,93	13,68	0,18	0,03
Resíduo B	90	1,51	1.029,58	1,1	9,34	9,5	0,14	0,21
CV(%)		3,89	10,56	10,16	20,24	3,46	47,69	5,91

\* Significativo para o teste F a 5% de probabilidade.

† **FV** – Fonte de Variação; **GL** – Graus de Liberdade; **CV** – Coeficiente de variação; **MMG** – Massa de Mil Grãos; **NGE** – Número de Grãos por Espiga; **MGEP** – Massa de Grãos na Espiga Principal; **RG** – Rendimento de grãos; **EPL** – Estatura de Planta; **NAF** – Número de Afilhos Fértis e **CESP** – Comprimento da Espiga.

A correlação linear de *Pearson* foi realizada de forma individual para cada um dos quatro manejos de nitrogênio. As associações lineares foram realizadas para os sete caracteres, sendo: MMG, NGE, MGEP, RG, EPL, NAF e CESP, diante disso, foram obtidas 21 associações para cada manejo de nitrogênio, destas apenas oito foram significativas para o manejo I e III, nove para o manejo II e cinco para o manejo IV a 5% de probabilidade.

A massa de mil grãos (MMG) apresentou correlação forte e positiva com a MGEP ( $r= 0,60$ ) e intermediária e positiva com o CESP ( $r= 0,36$ ) quando não foi aplicado N em cobertura (Manejo I) (Tabela 4.3). Resultado similar foi observado quando foi utilizado o manejo III, indicando que o incremento no comprimento da espiga e da massa de grãos na espiga principal tende a aumentar a massa de mil grãos. A espiga principal é oriunda do colmo principal, o qual é a primeira estrutura reprodutiva a ser emitida em relação aos afilhos, que surgem a partir do estágio vegetativo V3 – V4. Esta diferença temporal pode refletir em um maior direcionamento dos fotoassimilados produzidos para a espiga principal da planta, caracterizada como o principal dreno e justificando a maior massa de grão de trigo. Segundo McMaster (1997), o nitrogênio disponível no período de enchimento de grãos, favorece a manutenção da área foliar ativa por mais tempo e contribui para produção de fotoassimilados, refletindo em grãos mais pesados (AYOUB et al., 1994).

**Tabela 4.3** – Estimativas da correlação linear de *Pearson* para sete componentes do rendimento do trigo em dois anos de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas

	†† Manejo de nitrogênio I e II						
	MMG	NGE	MGEP	RG	EPL	NAF	CESP
MMG	-	0,25	0,60*	0,27	0,12	-0,29	0,36*
NGE	0,04	-	0,71*	0,64*	-0,16	0,13	0,51*
MGEP	0,32	0,80*	-	0,73*	-0,07	-0,10	0,43*
RG	-0,12	0,26	0,46*	-	0,02	0,54*	0,26
EPL	-0,36*	-0,13	-0,25	0,09	-	0,06	0,29
NAF	-0,33*	-0,33	-0,39*	0,57*	0,37*	-	-0,19
CESP	0,14	0,25	0,17	-0,23	0,19	-0,32	-

\* Significativo para o teste t a 5% de probabilidade;

† **MMG** – Massa de Mil Grãos; **NGE** – Número de Grãos por Espiga; **MGEP** – Massa de Grãos na Espiga Principal; **RG** – Rendimento de grãos; **EPL** – Estatura de Planta; **NAF** – Número de Afilhos Férteis e **CESP** – Comprimento da Espiga;

†† Manejo de nitrogênio I na diagonal superior e manejo de nitrogênio II na diagonal inferior.

Quando utilizado o manejo de nitrogênio II, III e IV foram observadas correlações intermediárias e negativas entre o NAF e a MMG, com magnitudes de  $r = -0,36$ ,  $r = -0,52$  e  $r = -0,40$ , respectivamente (Tabelas 4.3 e 4.4). Este comportamento revela que o menor número de afilhos com espigas viáveis tende a incrementar a massa de mil grãos. Carvalho et al. (2015), estudando as associações entre os caracteres morfológicos e componentes de rendimento em trigo duplo propósito sob diferentes cortes, observaram correlação negativa entre o número de afilhos férteis e a massa de mil grãos quando o trigo não foi submetido ao nenhum corte. A capacidade de afilhamento em trigo possui habilidade compensatória ao decorrer do ciclo fenológico da planta, devido sua alta relação com o número de espigas por planta (CARVALHO et al., 2015), ao passo que afilhos autossuficientes e fotossinteticamente ativos tendem a incrementar a produtividade de grãos (FIOREZE; RODRIGUES, 2012). Ao utilizar-se o nitrogênio totalmente no afilhamento (manejo II), observa-se associação intermediária e negativa entre a MMG e a EPL ( $r = -0,36$ ), onde a menor estatura da planta tende a incrementar a massa unitária do grão.

**Tabela 4.4** – Estimativas da correlação linear de *Pearson* para sete componentes do rendimento do trigo em dois anos de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas

†† Manejo de nitrogênio III e VI							
	MMG	NGE	MGEP	RG	EPL	NAF	CESP
MMG	-	0,27	0,53*	-0,09	-0,13	-0,52*	0,39*
NGE	-0,01	-	0,81*	0,47*	-0,11	0,01	0,32
MGEP	0,33*	0,43*	-	0,33*	-0,22	-0,26	0,38*
RG	-0,03	0,26	0,38*	-	0,01	0,74*	0,20
EPL	-0,01	-0,24	-0,20	-0,12	-	0,23	0,28
NAF	-0,40*	0,08	-0,20	0,67*	0,02	-	0,04
CESP	0,25	0,14	0,36*	0,11	0,17	0,02	-

\* Significativo para o teste t a 5% de probabilidade;

† **MMG** – Massa de Mil Grãos; **NGE** – Número de Grãos por Espiga; **MGEP** – Massa de Grãos na Espiga Principal; **RG** – Rendimento de grãos; **EPL** – Estatura de Planta; **NAF** – Número de Afilhos Férteis e **CESP** – Comprimento da Espiga;

†† Manejo de nitrogênio III na diagonal superior e manejo de nitrogênio IV na diagonal inferior.

O número de grãos por espiga (NGE) revelou correlação forte e positiva com a MGEP ( $r = 0,71$ ), e o RG ( $r = 0,64$ ) e intermediária e positiva com o CESP ( $r = 0,51$ ) para o manejo I, indicando que para este, o incremento do comprimento da espiga tende a aumentar o número grãos na espiga, resultando em maior massa de grãos na espiga principal e conseqüentemente maior rendimento de grãos. De maneira

semelhante, no manejo de nitrogênio III foram observadas correlações fortes e positivas entre o NGE e a MGEP ( $r= 0,71$ ) e o RG ( $r= 0,64$ ). No entanto, ao utilizar-se o manejo II e IV, observou-se correlação apenas com a MGEP,  $r= 0,80$  e  $r= 0,43$ , respectivamente. Gondim et al. (2008), estudando as associações entre os componentes de rendimento, caracteres de plantas e o rendimento de grãos de genótipos de trigo submetidos a desfolha, verificaram que o número de grãos por espiga e a massa de mil grãos são os principais componentes de rendimento quando o trigo é submetido a desfolha. Resultados semelhantes foram encontrados por estudos de Caierão et al. (2001), Vieira et al. (2007) e Vesohoski et al. (2011).

O número de grãos por espiga é um componente afetado pelo número de espiguetas produzidas e pela capacidade das flores fertilizarem e produzir grãos (LANGER; HANIF, 1973). Segundo Rodrigues et al. (2011), o número potencial de espiguetas da espiga é definido no período de afilhamento, mais precisamente entre a fase descrita como “duplo anel”, caracterizada como o início da diferenciação do nó reprodutivo e a “espiguetas terminal”, quando é desenvolvida a última espiguetas e o colmo inicia sua alongação. Neste estágio ocorre a diferenciação floral, onde o ambiente é um fator que pode influenciar fortemente a quantidade de flores que se diferenciam por espiguetas (RODRIGUES, 2000). Desta forma, pode-se destacar que o manejo de nitrogênio utilizado no trigo, pode afetar a disponibilidade de nitrogênio durante este período, podendo alterar a contribuição dos componentes no rendimento de grãos da cultura.

A massa de grãos da espiga principal (MGEP) revelou, para os manejos de nitrogênio I, III e IV, correlações positivas com o RG ( $r= 0,73$ ,  $r= 0,46$  e  $r= 0,33$ , respectivamente) e o CESP ( $r= 0,43$ ,  $r= 0,38$  e  $r= 0,36$ , respectivamente). Desta forma, o aumento do comprimento da espiga e da massa de grãos na espiga principal tende a incrementar o rendimento de grãos de trigo. Silva (2009) considera que o comprimento da espiga é um importante caráter a ser considerado no melhoramento genético de cereais, em função deste estar intimamente relacionado aos componentes que definem rendimento da cultura do trigo.

O número de filhos férteis (NAF) apresentou, para os manejos de nitrogênio I, II, III e IV correlação intermediária a forte e de sentido positivo com o rendimento de grãos ( $r= 0,54$ ,  $r= 0,57$ ,  $r= 0,74$  e  $r= 0,67$ , respectivamente). Desta forma, pode-se inferir que independente do manejo de nitrogênio utilizado, o maior número de filhos férteis na planta de trigo tende a incrementar o rendimento de grãos desta cultura.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Kavalco et al. (2014), os quais ao estudar as correlações fenotípicas, genéticas e de ambiente de variáveis agronômicas sob a produção de grãos em dois ambientes de cultivo, observaram alta correlação entre o número de afilhos férteis e a produção de grãos, indicando que este caráter pode ser utilizado como critério de seleção indireta para a produção de grãos em trigo.

A estatura de planta (EPL) revelou correlação intermediária e positiva com o NAF ( $r= 0,37$ ) para o manejo II, remetendo que quando o nitrogênio é aplicado no afilhamento, plantas mais altas tendem a incrementar o número de afilhos com a presença de espiga viável. Não foram observadas correlações significativas entre estes caracteres para os demais manejos nitrogenados utilizados.

A matriz dos coeficientes de correlação linear fenotípica, para cada manejo de nitrogênio, foi submetida ao diagnóstico de multicolinearidade, onde foi testado o número de condições da matriz (NC), com o intuito de revelar quais dos caracteres eram aditivos ao modelo. O diagnóstico revelou colinearidade fraca para o manejo I, II, II e IV, com NC de 16,32, 17,64, 18,58 e 4,59, respectivamente. Desta forma, não houve a necessidade de utilizar algum método para contornar os efeitos de multicolinearidade.

As associações fenotípicas de causa e efeito foram empregadas para os dois ambientes de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas de forma individual para cada um dos quatro manejos de nitrogênio, onde fixou-se o rendimento de grãos como caráter dependente e os caracteres MMG, NGE, MGEP, EPL, NAF e CESP foram considerados como explicativos.

O aumento do rendimento de grãos constitui um dos principais objetivos dos programas de melhoramento de trigo, no entanto, esta não é uma tarefa fácil, devido ao fato do rendimento de grãos ser um caráter expresso pela ação de um grande número de genes (ALLARD, 1971), sendo fortemente influenciado pelo ambiente e portanto, com baixa herdabilidade. Neste sentido, uma alternativa válida é uso da seleção indireta para selecionar genótipos com maior rendimento de grãos, e compreender quais caracteres devem ser considerados para nortear a estratégia de seleção através de caracteres de fácil mensuração, alta herdabilidade e grande efeito ao caráter de interesse (HARTWIG et al., 2007).

O conhecimento das inter-relações entre caracteres que fazem parte dos componentes do rendimento constitui-se de fundamental importância, visto que, o

rendimento de grãos de trigo pode ser atribuído ao produto de três componentes principais, sendo eles, número de espigas por unidade de área, número de grãos por espiga e massa média de grãos, e seus comportamentos variam, até certo limite, independentemente um do outro (GONDIM et al., 2008).

Na tabela 4.5 são apresentadas as estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres explicativos sobre o RG para o manejo de nitrogênio I e II.

**Tabela 4.5** – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos em seis caracteres de interesse agrônomo sobre o rendimento de grãos para o manejo de nitrogênio I e II, em dois anos de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas

<b>Manejo de nitrogênio I</b>						
	MMG	NGE	MGEP	EPL	NAF	CESP
Direto sobre RG	-0,07	-0,04	0,07	0,02	0,62	0,07
Ind. via MMG	-	-0,02	-0,03	-0,01	0,02	-0,03
Ind. via NGE	-0,01	-	-0,02	-0,01	-0,01	-0,03
Ind. via MGEP	0,51	0,59	-	-0,05	-0,08	0,35
Ind. via EPL	-0,01	-0,01	0,36	-	0,01	0,01
Ind. via NAF	-0,18	0,08	0,01	0,04	-	-0,12
Ind. via CESP	0,03	0,04	-0,11	0,02	-0,01	-
Total	0,27	0,64	0,26	0,02	0,54	0,26
Coeficiente de determinação			0,91			
Efeito da variável residual			0,29			
Determinante da matriz			0,11			
<b>Manejo de nitrogênio II</b>						
	MMG	NGE	MGEP	EPL	NAF	CESP
Direto sobre RG	-0,20	-0,35	1,00	-0,05	0,83	-0,03
Ind. via MMG	-	-0,01	-0,06	0,07	0,06	-0,03
Ind. via NGE	-0,01	-	-0,28	0,05	0,11	-0,09
Ind. via MGEP	0,36	0,90	-	-0,28	-0,44	0,19
Ind. via EPL	0,02	0,01	0,01	-	-0,01	-0,01
Ind. via NAF	-0,27	-0,27	-0,32	0,31	-	-0,27
Ind. via CESP	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	-
Total	-0,11	0,27	0,46	0,09	0,57	-0,23
Coeficiente de determinação			0,92			
Efeito da variável residual			0,27			
Determinante da matriz			0,12			

† **MMG** – Massa de Mil Grãos; **NGE** – Número de Grãos por Espiga; **MGEP** – Massa de Grãos na Espiga Principal; **RG** – Rendimento de grãos; **EPL** – Estatura de Planta; **NAF** – Número de Afilhos Férteis e **CESP** – Comprimento da Espiga.

Com relação ao manejo nitrogenado I, o NGE apresentou correlação linear forte e positiva com o RG ( $r = 0,64$ ), em função dos efeitos indiretos apresentados pela

MGEP (0,59). Em estudo realizado, Carvalho et al. (2015) encontraram correlação positiva entre o número de grãos e a massa de grãos da espiga do trigo, desta forma, pode-se inferir que a maior número de grãos por espiga incrementa a massa de grãos na espiga principal.

Na tabela 4.6 são demonstradas as estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres explicativas sobre o REN para o manejo nitrogenado III e IV.

**Tabela 4.6** – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos em seis caracteres de interesse agrônômico sobre o rendimento de grãos para o manejo de nitrogênio III e IV, em dois anos de cultivo, três genótipos e duas fontes nitrogenadas

<b>Manejo de nitrogênio III</b>						
	MMG	NGE	MGEP	EPL	NAF	CESP
Direto sobre RG	0,19	0,09	0,43	-0,06	0,97	-0,09
Ind. via MMG	-	0,05	0,10	-0,02	-0,1	0,07
Ind. via NGE	0,02	-	0,07	-0,01	0,01	0,02
Ind. via MGEP	0,23	0,35	-	-0,09	-0,11	0,16
Ind. via EPL	0,01	0,01	0,01	-	-0,01	-0,02
Ind. via NAF	-0,50	0,01	-0,25	0,22	-	0,04
Ind. via CESP	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02	-0,01	-
Total	-0,09	0,47	0,33	0,01	0,74	0,20
Coeficiente de determinação				0,87		
Efeito da variável residual				0,36		
Determinante da matriz				0,09		
<b>Manejo de nitrogênio IV</b>						
	MMG	NGE	MGEP	EPL	NAF	CESP
Direto sobre RG	0,16	-0,02	0,56	-0,01	0,85	-0,14
Ind. via MMG	-	-0,01	0,05	-0,01	-0,06	0,04
Ind. via NGE	0,01		-0,01	0,01	-0,01	0,20
Ind. via MGEP	0,19	0,24	-	-0,11	-0,11	0,20
Ind. via EPL	0,01	0,01	0,01	-	-0,01	-0,01
Ind. via NAF	-0,34	0,06	-0,17	0,02	-	0,01
Ind. via CESP	-0,03	-0,01	-0,51	-0,02	-0,01	-
Total	-0,03	0,26	0,38	-0,12	0,67	0,11
Coeficiente de determinação				0,77		
Efeito da variável residual				0,48		
Determinante da matriz				0,41		

† **MMG** – Massa de Mil Grãos; **NGE** – Número de Grãos por Espiga; **MGEP** – Massa de Grãos na Espiga Principal; **RG** – Rendimento de grãos; **EPL** – Estatura de Planta; **NAF** – Número de Filhos Férteis e **CESP** – Comprimento da Espiga.

O NAF apresentou efeito direto alto e positivo ao RG, corroborando com o coeficiente linear em sentido e magnitude, possibilitando estabelecer como verdadeira a hipótese de associação linear entre estes caracteres. Desta forma, infere-se que o aumento do número de afilhos férteis tende a aumentar o rendimento de grãos do trigo. Estes resultados corroboram com Vieira et al. (2007), os quais estudando as correlações genéticas entre os componentes primários e secundários sobre o rendimento de grãos do trigo, concluíram que o número de afilhos por metro linear e o número de grãos por espiguetas são os caracteres primários que apresentam maior importância na determinação do rendimento.

Em relação ao manejo nitrogenado II, observa-se que a MGEP apresentou efeito alto e positivo ao RG, sob efeito indireto negativo do NGE e NAF, apresentando correlação total positiva ( $r = 0,46$ ).

Quando utilizado manejo nitrogenado III, observou-se que o NGE apresenta correlação linear intermediária e positiva com o REN ( $r = 0,47$ ), entretanto este comportamento está atrelado aos efeitos indiretos positivos revelados pela MGEP ( $0,35$ ).

A MGEP apresentou correlação linear positiva com o REN ( $r = 0,33$ ), onde o efeito direto mostrou-se positivo ( $0,43$ ), destacando contribuição negativa do efeito indireto via NAF ( $-0,25$ ). Este comportamento pode estar relacionado com o maior número de afilhos férteis não estar efetivamente atrelado a uma maior produção de grãos nestas estruturas, resultando em competição por fotoassimilados e consequente redução da massa de grãos da espiga principal.

O nitrogênio possui função estimuladora das gemas axilares em que aplicações antecipadas deste nutriente podem refletir em maior emissão de afilhos. Desta forma, em função do potencial de afilhamento do genótipo, as aplicações podem ser ministradas mais no início do desenvolvimento da planta, ou mais tardiamente, no intuito de aumentar o número de afilhos férteis por planta. No entanto, quando há deficiência de N na fase de afilhamento do trigo, ocorre uma assincronia na emissão de afilhos, em que estes possuem menor chance de sobreviver, mesmo que a planta receba suplementação em fases de desenvolvimento mais adiantadas (MUNDSTOCK, 1999).

A presença de afilhos pode afetar a produtividade do trigo de maneira positiva ou negativa, em função da disponibilidade de recursos ambientais, como água, luz e nutrientes (ELHANI et al., 2007). Nos cereais, as relações entre o colmo principal e os

afilhos afetam o número de afilhos férteis e esta relação é dependente das condições do ambiente durante a iniciação do primórdio do afilho e nos estádios de desenvolvimento subsequentes (ALMEIDA; MUNDSTOCK, 2001). Quando utilizado o manejo nitrogenado IV, observou-se efeito direto intermediário e positivo entre a MGEP (0,56) e contribuição dos efeitos indiretos negativos via NAF (-0,17) e CESP (-0,51), justificando a correlação linear positiva entre a MGEP e o RG ( $r = 0,38$ ).

O NAF apresentou correlação positiva com o REN, com efeito direto alto e positivo e influenciado pelo efeito indireto negativo via MGEP, quando utilizado os manejos nitrogenados II, III e IV, referindo-se que houve comportamento similar das associações de causa e efeito em função destes manejos nitrogenados empregados, onde o sentido das associações se manteve, apenas modificando suas magnitudes. Desta forma, a seleção de genótipos via número de afilhos férteis, aliado a menor massa de grãos na espiga principal e maior número de grãos por espiga tendem a incrementar os ganhos para rendimento de grãos. A sobrevivência dos afilhos está condicionada ao equilíbrio apresentado entre o desenvolvimento do colmo principal e os afilhos, assim sendo, para que se tornem produtivos, os afilhos devem apresentar taxas de crescimento semelhantes ao colmo principal, podendo assim contribuir para a produção final de grãos (WOBETO, 1994).

Os coeficientes de determinação apresentaram-se altos para o manejo I ( $R^2 = 0,91$ ), II ( $R^2 = 0,91$ ), III ( $R^2 = 0,87$ ) e IV ( $R^2 = 0,77$ ). Borges et al. (2011) inferem que coeficientes próximos a 1 indicam que as variações do caráter dependente são explicadas pelas variações dos caracteres explicativos. Conseqüentemente, os resultados obtidos no presente estudo foram adequadamente explicados pelo modelo proposto.

#### **4.4 Conclusão**

O manejo de nitrogênio altera as relações de causa e efeito entre os componentes de rendimento de grãos estudados. A adoção do manejo sem nitrogênio aplicado em cobertura (manejo I), indica a relação de causa e efeito entre o número de afilhos férteis e o rendimento de grãos do trigo. A adoção de qualquer um dos outros manejos de nitrogênio (manejo II, manejo III e manejo IV) revela que a massa de grãos da espiga principal e o número de afilhos férteis possui relação de causa e efeito com o rendimento de grãos do trigo.

#### 4.5 Referências Bibliográficas

- AYOUB, M.; GUERTIN, S.; LUSSIER, S.; SMITH, D. L. Timing and level of nitrogen fertility effects on spring wheat yield in Eastern Canada. **Crop Science**, v. 34, n. 3, p. 748-756, 1994.
- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1971. 485 p.
- ALMEIDA, M. L.; MUNDSTOCK, C. M. A qualidade da luz afeta o afinamento em plantas de trigo, quando cultivadas sob competição. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 401-408, 2001.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.
- BARETTA, D.; NARDINO, M.; CARVALHO, I. R.; NORBERG, R.; SOUZA, V. Q.; KONFLANZ, V. A.; OLIVEIRA, A. C.; MAIA, L. C. Path analysis for morphological characters and grain yield of maize hybrids. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 1655-1661, 2016.
- BARRACLOUGH, P. B.; HOWARTH, J. R.; JONES, J.; LOPEZ-BELLIDO, R.; PARMAR, S.; SHEPHERD, C. E.; HAWKESFORD, M. J. Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 1-11, 2010.
- BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E. S.; SILVA, C. L.; PINNOW C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, p. 275-283, 2012.
- BORGES, V.; SOBRINHO, F. S.; LÉDO, F. J. S.; KOPP, M. M. Associação entre caracteres e análise de trilha na seleção de progênies de meios-irmãos de *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 765-772, 2011.
- CABRAL, P. D. S.; SOARES, T. C. B.; LIMA, A. B. P.; SOARES, Y. J. B.; SILVA, J. A. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.
- CAIERÃO, E.; CARVALHO, F. I. F.; PACHECO, M. T.; LONRECETTI, C.; MARCHIORO, V. C.; SILVA, J. G. Seleção indireta em aveia para o incremento no rendimento de grãos. **Ciência Rural**, v. 31, n. 32, p. 231-236, 2001.
- CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004. 142 p.
- CARVALHO, I. R.; SOUZA, V. Q.; NARDINO, M.; FOLLMANN, D. N.; SCHMIDT, D.; BARETTA, D. Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes

de produção em trigo de duplo propósito. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 690-697, 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Safra 2017 de trigo**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_05\\_11\\_14\\_23\\_14\\_boletim\\_graos\\_maio\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_11_14_23_14_boletim_graos_maio_2017.pdf)>. Acesso em: 5 mai. 2017.

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

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 586 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 389 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J.; **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Vol. 2, 3ed. Viçosa: Editora UFV, 2014, 668 p.

ELHANI, S.; MARTOS, V.; RHARRABTI, Y.; ROYO, C.; GARCÍA DEL MORAL, L. F. Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. **Field Crops Research**, v. 103, n. 1, p. 25-35, 2007.

FIGLIORINI, S. L.; RODRIGUES, J. D. Perfilhamento do trigo em função da aplicação de regulador vegetal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 750-755, 2012.

GONDIM, T. C. O.; ROCHA, V. S.; SEDIYAMA, C. S.; MIRANDA, G. V. Análise de trilha para componentes do rendimento e caracteres agrônômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 4, p. 487-493, 2008.

GÓRNY, A. G.; BANASZAK, Z.; LUGOWSKA, B.; RATAJCZAK, D. Inheritance of the efficiency of nitrogen uptake and utilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under diverse nutrition levels. **Euphytica**, v. 177, p. 191-206, 2011.

HARTWIG, I.; CARVALHO, F. I. F. de; OLIVEIRA, A. C. de; VIEIRA, E. A.; SILVA, J. A. G. da; BERTAN, I.; RIBEIRO, G.; FINATTO, T.; REIS, C. E. S. dos; BUSATO, C. C. Estimativa de coeficientes de correlação e trilha em gerações segregantes de trigo hexaplóide. **Bragantia**, v. 66, p. 203-218, 2007.

KAVALCO, S. A. F.; FIGUEIREDO, R.; GROLI, E. L.; ZIMMER, C. M.; BARETTA, D.; TESSMANN, E. W.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; OLIVEIRA, A. C. Análise de trilha em genótipos de trigo submetidos ao estresse por encharcamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1683-1696, 2014.

KUTMAN U. B.; YILDIZ, B.; CAKMAK, I. Improved nitrogen status enhances zinc and iron concentrations both in the whole grain and the endosperm fraction of wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 53, p. 118-125, 2011.

LANGER, R. H. M.; HANIF, M. A study of floret development in wheat (*Triticum aestivum*). **Annals of Botany**, v. 37, p. 743-751, 1973.

LI, C. C. Path analysis - a primer. 3. ed. Pacific Grove, Boxwood. 1975. 347 p.

McMASTER, G.S. Phenology, development and growth of the wheat (*Triticum aestivum*) shoot apex: a review. **Advances in Agronomy**, v. 59, p. 63-118, 1997.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. John Wiley and Sons, New York, 1982. 504 p.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Evnagraf, 1999. 227 p.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 969 p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15.ed. Piracicaba: Esalq, 2009. 451 p.

PINNOW, C.; BENIN, G.; VIOLA, R.; SILVA, C. L. S.; GUTKOSKI, L. C.; CASSOL, L. C. Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. **Bragantia**, v. 72, p. 20-28, 2013.

RODRIGUES, O. Manejo de trigo: bases ecofisiológicas. In: CUNHA, G. R da; BACLTCHUK, B. (Org.). **Tecnologias para produzir trigo no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Assembléia Legislativa do Rio Grande do Sul – Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 120-155.

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

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SAS, GETTING Started with the SAS® Learning Edition. Cary, NC: SAS Institute, 2013. 81 p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n.3/4. p. 591-611, 1965.

SILVA, A. H. da. **Avaliação de genótipos de trigo duro quanto à produção de grãos e outros caracteres agrônômicos no Estado de São Paulo**, 2009. 164p. Dissertação (Mestrado). Instituto Agrônômico, Campinas.

SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F.; NEDEL, J. L.; CRUZ, P. J.; SILVA, J. A. G.; CAETANO, V. R.; HARTWIG, I.; SOUSA, C. S. Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo. **Bragantia**, v. 4, n. 2, p. 191-196, 2005.

STEEL, R.; TORRIE, J. **Principles and procedures of statistics a biometrical approach**. 2nd ed., McGraw Hill, 1980. 633 p.

VESOHOSKI, F.; MARCHIORO, V. S.; FRANCO, F. A.; CANTELLE, A. Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 337-341, 2011.

VIEIRA, E. A.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; MARTINS, L. F. BENIN, G.; SILVA, J. A. G.; COIMBRA, J.; MARTINS, A. F.; CARVALHO, M. F.; RIBEIRO, G. Análise de trilha entre os componentes primários e secundários do rendimento de grãos em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 169-174, 2007.

WOBETO, C. **Padrão de afilamento, sobrevivência de afilhos e suas relações com o rendimento de grãos em trigo**. 1994. 102 f. Dissertação (Mestrado em fitotecnia) Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557-585, 1921.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A. J. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 153-82, 2012.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho investiga a capacidade de combinação de genitores e infere sobre o controle genético dos caracteres através de um dialelo completo de trigo, bem como busca compreender as associações entre o rendimento de grãos do trigo e os caracteres agrônômicos que o define, com isso, verificar se as associações de causa e efeito se mantem em função do manejo de nitrogênio adotado.

Os resultados deste trabalho (Capítulo II) mostraram que os genitores apresentaram divergência entre si para os locos que controlam os caracteres avaliados indicando a influência dos efeitos gênicos aditivos e não aditivos. O genitor Cep Horizonte apresentou elevada capacidade de combinação para massa de grãos por planta. Quartzo e Mirante maximizaram o número de espiguetas por espiga e comprimento de espiga, respectivamente e Tbio Mestre pode ser um bom genitor para redução da altura de inserção da espiga, estatura de planta e espaçamento entre espiguetas na espiga. Tais resultados sugerem provável sucesso na obtenção de combinações híbridas superiores, pois altas estimativas da CGC geralmente são expressas por genitores com maior frequência de alelos favoráveis. Para os cruzamentos realizados existem combinações híbridas favoráveis para pelo menos uma das características avaliadas com base da capacidade específica de combinação. O estudo do efeito recíproco demonstra que há diferença quando um genótipo é utilizado como doador ou receptor de pólen, pois há efeito citoplasmático e de genes nucleares do genitor feminino nos caracteres avaliados.

As relações de causa e efeito entre os componentes de rendimento do trigo sob diferentes manejos de nitrogênio (Capítulo III) indica que o manejo nitrogenado altera as relações de causa e efeito entre os componentes de rendimento de grãos estudados. A adoção do manejo sem nitrogênio aplicado em cobertura (manejo I), indica a relação de causa e efeito entre o número de afilhos férteis e o rendimento de grãos do trigo. A adoção de qualquer um dos outros manejos de nitrogênio revela que o a massa de grãos da espiga principal e o número de afilhos férteis possui relação de causa e efeito com o rendimento de grãos do trigo. Desta forma, a modificação das relações de causa e efeito está relacionada a utilização ou não do fertilizante

nitrogenado em cobertura e não ao momento em que o nitrogênio é aplicado em cobertura.

As informações obtidas com estes estudos auxiliam a compreensão das relações entre caracteres determinantes para o rendimento de grãos, dando aporte para definição de estratégias que promovam maior eficiência dos programas de melhoramento genético do trigo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Introdução Geral)

BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E. S.; SILVA, C. L.; PINNOW C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, p. 275-283, 2012.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004. 142 p.

CONAB – Companhia Brasileira de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira de grãos, safra 2016/2017**. Sexto Levantamento, n. 4, 2017. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_03\\_14\\_15\\_28\\_33\\_bol\\_etim\\_graos\\_marco\\_2017bx.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_14_15_28_33_bol_etim_graos_marco_2017bx.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2017.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 586 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 390p.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: MacMillan, 1987. 525 p.

FERREIRA, F. M.; BARROS, W. S.; SILVA, F. L.; BARBOSA, M. H. P.; CRUZ, C. D. Relações fenotípicas e genotípicas entre componentes de produção em cana de açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 605-610, 2007.

HALLAUER, A. R. History, Contribution and Future of Quantitative Genetics in Plant Breeding: Lessons From Maize. **Crop Science**, v. 47, n. 3, p. 4-19, 2007.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Springer, 2010. 663 p.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, F.R. de A. **Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 64p.

KUREK, A.; CARVALHO, F.; ASSMANN, I.; MACHIORO, V.; CRUZ, P. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7 n. 1, p. 29-32, 2001.

KUTMAN U. B.; YILDIZ, B.; CAKMAK, I. Improved nitrogen status enhances zinc and iron concentrations both in the whole grain and the endosperm fraction of wheat. **Journal of Cereal Science**, v.53, p.118-125, 2011.

MITTELMANN, A.; NETO, J. F. B.; CARVALHO, F. I. F.; LEMOS, M. C. I.; CONCEIÇÃO, L. D. H. Herança de caracteres do trigo relacionados a qualidade de panificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 975-983, 2000.

RAMALHO, M. SANTOS; J. B. PINTO, C. B.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na Agropecuária**. 5ª Edição revisada. Ed. UFLA, 2012. 566 p.

SINGH, A., SHAHI, J. P.; LANGADE, D. M. Combining Ability Studies for Yield and its Related Traits in Inbred Lines of Maize (*Zea mays* L.). **Molecular Plant Breeding**. v. 4, n. 22, p. 177-188, 2013.

USDA – United States Department of Agriculture. **Statistics of grain and feed**. 2017. Disponível em: < [https://www.nass.usda.gov/Statistics\\_by\\_Subject/index.php?sector=CROPS](https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_Subject/index.php?sector=CROPS)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C; LORENCETTI, C.; SOUZA, V. Q; SILVA, J. A. G.; HARWING, I.; SCHMIDT, A. M.; BERTAN, I.; RIBEIRO, G. Estabilidade da produção e da capacidade de combinação de diferentes populações de aveia. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 331-346, 2009.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557-585, 1921.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A. J. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v.63, p.153-82, 2012.

## Vitae

Alan Junior de Pelegrin, nascido em 09 de maio de 1989 em Nova Palma – RS, obteve formação do ensino médio de 2004 – 2006 pela Escola Estadual de Educação Básica Tiradentes de Nova Palma – RS. Possui o título de Técnico Agrícola com habilitação em Agricultura, adquirido no ano de 2009, pelo Instituto Federal Farroupilha *Campus* de São Vicente do Sul – RS. Têm experiência profissional na área de produção sementes e experimentação agrícola nas culturas de soja e trigo, em que trabalhou como assistente técnico de produção de sementes no período de 2009 – 2011, na empresa Sementes Estrela: Comércio, Importação e Exportação LTDA, em Erechim – RS. No início de 2011, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria *Campus* de Frederico Westphalen – RS. Foi estagiário do Laboratório de Melhoramento Genético e produção de Plantas de 2011 – 2015, sob a orientação do professor Dr. Velci Queiróz de Souza. Durante este período realizou trabalhos em parceria com a Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz” (USP – ESALQ), com a Universidade Federal de Pelotas – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPel – FAEM) e com a empresa Limagrain Guerra Sementes. Ainda neste período, foi contemplado como bolsista PROBIC de iniciação científica na Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, na área de melhoramento genético de plantas durante o período de 2013 – 2015. Formou-se Engenheiro Agrônomo em dezembro de 2015 e em março de 2016 iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UFPel), sob orientação do professor Dr. Luciano Carlos da Maia. Durante todo este período desenvolveu trabalhos na área de melhoramento genético de plantas, biometria e experimentação agrícola, com ênfase em genética quantitativa, estratégias de seleção, interação genótipos x ambiente e produção de plantas. Tem estado trabalhando com o melhoramento genético do trigo, arroz, milho e da cana-de-açúcar, e pesquisas de fitotecnia com as culturas do trigo, milho, soja e feijão. Durante sua vida acadêmica tem publicado na qualidade de autor e coautor 34 resumos em anais de eventos, 60 artigos científicos em periódicos e 9 capítulos de livro, nas áreas de melhoramento genético de plantas, sementes e produção de plantas.