

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

André Luís Tischler

**ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E RELAÇÕES ENTRE
CARACTERES DE TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES**

Santa Maria, RS
2021

André Luís Tischler

**ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E RELAÇÕES ENTRE CARACTERES DE
TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Dal'Col Lúcio

Santa Maria, RS
2021

Tischler, André Luís
ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E RELAÇÕES ENTRE
CARACTERES DE TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES / André
Luís Tischler.- 2021.
96 p.; 30 cm

Orientador: Alessandro Dal'Col Lúcio
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2021

1. Triticum aestivum 2. Análise Biométrica 3. Análise
Multivariada 4. Rendimento 5. Seleção I. Lúcio,
Alessandro Dal'Col II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

©2021

Todos os direitos autorais reservados a André Luís Tischler. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só pode ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: andreluistischler@gmail.com

André Luís Tischler

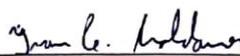
**ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E RELAÇÕES ENTRE CÂRACTERES DE
TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 26 de Agosto de 2021:



Alessandro Dal'Col Lúcio, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Ivan Carlos Maldaner, Dr. (IFFar) - Videoconferência



Maicon Nardino, Dr. (UFV) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2021

*Dedico este trabalho a Deus,
a minha mãe Sônia, ao meu irmão Alex e a minha avó Ada por todos exemplos,
ensinamentos de vida, persistência e incentivo que me auxiliaram a trilhar e concluir esta
jornada!*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pela sabedoria e Fé que sempre me mantiveram perseverantes na jornada. Agradeço pelas bênçãos, dificuldades superadas e aprendizados construídos que me fortaleceram e me tornaram um ser humano melhor. Agradeço pelas pessoas boas que tive a oportunidade de encontrar pelo caminho, bem como também pelo crescimento pessoal e profissional ao qual pude adquirir sempre com tua graça ao meu lado. “Pois tudo posso naquele que me fortalece!”.

À minha família, que muitas vezes teve que ser um suporte inabalável para que eu pudesse continuar a trilhar meus sonhos e seguir forte na caminhada. De uma forma muito especial agradeço a minha base durante esses anos: Minha mãe Sônia, meu irmão Alex e minha avó Ada os quais foram e são meus exemplos e minha motivação de cada dia. Agradeço também a Ioda, a Carla e ao Éder por acreditarem junto comigo que a concretização de mais essa etapa pudesse ser possível. Saibam que todo esse esforço realizado não foi apenas por mim, mas por cada um de vocês!

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia por toda formação humanizada, gratuita e de qualidade que sempre me proporcionaram. Ao meu orientador, professor Alessandro Dal’Col Lúcio pelo incentivo a continuação dos estudos da pós-graduação, pela dedicação, companheirismo, confiança e por todo suporte e orientação disponibilizado que me permitiu avançar as barreiras do conhecimento e muito contribuiu na minha construção profissional, pessoal e de valores.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar), na pessoa do professor Ivan Carlos Maldaner pela disponibilidade dos dados para aplicação dos estudos propostos nessa pesquisa, assim como pelo aceite em constituir a banca desse trabalho.

Ao professor Maicon Nardino pelo aceite para participação como banca desse processo e por todas contribuições e sugestões realizadas.

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

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa em Experimentação Agrícola, especialmente a Maria, a Francieli, a Rosana e ao Tiago por todas as trocas de experiências, conhecimentos e também pela amizade construída e fortalecida durante esse período.

A todos os demais que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desta,

Muito obrigado!

Meus irmãos, tende por motivo de grande alegria o passardes por várias provações, sabendo que a prova da vossa fé, uma vez confirmada, produz perseverança!

(Tiago 1:3-5)

RESUMO

ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E RELAÇÕES ENTRE CARACTERES DE TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES

AUTOR: André Luís Tischler
ORIENTADOR: Alessandro Dal'Col Lúcio

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais de maior importância no mundo em virtude da grande quantidade de subprodutos que origina. Todavia, no Brasil, a área cultivada ainda é limitada por fatores ambientais, econômicos e produtivos que em muitos casos decorrem da falta de informações a respeito dos ambientes e dos genótipos. Para isso, pesquisas em relação ao melhoramento genético e a aplicação de análises biométricas e multivariadas, especialmente para locais onde o trigo está em ascensão, são essenciais para o avanço da cultura e aumento da área produtiva. Nesse âmbito, o objetivo deste estudo foi avaliar a adaptabilidade, a estabilidade, o rendimento de grãos e as relações existentes entre caracteres morfológicos e produtivos de genótipos de trigo submetidos a diferentes ambientes de cultivo. Os ensaios foram conduzidos na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha em São Vicente do Sul, nos anos agrícolas 2016, 2017 e 2018, sendo compostos por quatro genótipos: TBIO Sintonia, TBIO Sinuelo, TBIO Sossego e TBIO Toruk, e por três épocas de semeadura a cada ano, realizadas entre os meses de maio, junho e julho. A caracterização dos genótipos nos ambientes foi realizada por meio das análises individual e conjunta, AMMI, REML/BLUP, WAASB e WAASBY e as relações entre os caracteres foram estudadas por meio da correlação de Pearson, análise de trilha e da análise de correlações canônicas para identificar se as respostas destas metodologias e caracteres se modificam quando relacionadas. Os resultados evidenciam que entre os ambientes houve grande variação ambiental e o ranqueamento dos genótipos em termos produtivos se modifica conforme a metodologia utilizada. Da mesma maneira, as relações entre os caracteres também oscilaram de acordo com as condições observadas nos ambientes. A adaptabilidade e a estabilidade são preditas de forma satisfatória pelas metodologias WAASB e WAASBY por meio da associação da performance e desempenho com o rendimento de grãos. O genótipo TBIO Sinuelo foi o mais produtivo na maioria dos ambientes, contudo o genótipo mais estável e adaptado foi o TBIO Sossego e o mais instável e menos adaptado foi o TBIO Sintonia. As relações lineares entre os caracteres mostram correlações positivas entre comprimento e número de espiguetas na espiga principal, comprimento e número de espiguetas na espiga do perfilho, assim como para número de espiguetas na espiga principal e no perfilho em relação ao número de grãos destas. Os caracteres mais adequados visando a seleção direta e indireta para o melhoramento de plantas de trigo foram número de grãos na espiga do perfilho e impureza, enquanto que peso hectolitro e massa de mil grãos são os mais recomendados considerando apenas a seleção indireta nestas condições ambientais testadas. As correlações canônicas entre os grupos morfológico e produtivo são dependentes na maioria dos ambientes e plantas maiores com maior comprimento da espiga principal e maior comprimento da espiga do perfilho podem ser associadas indiretamente para o aumento do rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L.. Análise Biométrica. Análise Multivariada. Rendimento. Seleção.

ABSTRACT

ADAPTABILITY, STABILITY AND RELATIONS BETWEEN WHEAT CHARACTERS IN MULTI ENVIRONMENT TRIALS

AUTHOR: André Luís Tischler
ADVISOR: Alessandro Dal'Col Lúcio

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important cereal in the world because of the large amount of by-products originated. However, in Brazil, the cultivated area is still limited by environmental, economic and productive factors that in many cases result from the lack of information about environments and genotypes. Therefore, research in relation to the breeding and application of biometric and multivariate analysis, especially where the culture is rising, are essential for the progress of the culture and increasing production area. In this context, the objective of this study was to evaluate the adaptability, stability, grain yield and the relationships between morphological and productive characters of wheat genotypes subjected to different cultivation environments. The tests were conducted in the experimental area of the Federal Institute of Education, Science and Technology Farroupilha in São Vicente do Sul, in the agricultural years 2016, 2017 and 2018, and were composed of four genotypes: TBIO Sintonia, TBIO Sinuelo, TBIO Sossego and TBIO Toruk, and for three sowing seasons each year, carried out between the months of May, June and July. The characterization of the genotypes in the environments were performed through individual and joint analysis, AMMI, REML/BLUP, WAASB and WAASBY and the relationships between characters were investigated through Pearson correlation, path analysis and canonical correlation analysis to identify whether the responses of these methodologies and characters changed when related. The results show that between environments there was great environment variation and the ranking of genotypes in terms of production changes according to the methodology used. Likewise, the relationships between characters also changed according to the conditions observed in the environments. Adaptability and stability are satisfactorily predicted by WAASB and WAASBY methodologies through the association of performance and characters performance with grain yield. The TBIO Sinuelo genotype was the most productive in most environments, but the most stable and adapted genotype was TBIO Sossego, and the most unstable and least adapted was TBIO Sintonia. The linear relationships between characters show positive correlations between length and number of spikelets in the main ear, length and number of spikelets in the ear of the tiller, as well as for the number of spikelets in the main ear and tiller in relation to the number of grains of these. The most suitable characters for direct and indirect selection for the improvement of wheat plants were number of grains in the ear of the tiller and impurity, while hectoliter weight and thousand grain mass are the most recommended considering only indirect selection in these tested environmental conditions. The canonical correlations between the morphological and productive groups are dependent in most environments and larger plants with greater length of the main ear and greater length of the ear of the tiller can be indirectly associated to increase the grain yield.

Keywords: *Triticum aestivum* L.. Biometric Analysis. Multivariate Analysis. Grain Yield. Selection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1 - Caracterização do Estado do Rio Grande do Sul e do local da realização dos experimentos (a), e demonstração das regiões homogêneas de adaptação para cultivo de trigo e localização (b)..... 19

CAPÍTULO I: AMMI, REML/BLUP, WAASB e WAASBY EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES COM TRIGO

Figura 1 - Temperatura mínima, máxima e precipitação nas épocas de cultivo do trigo em São Vicente do Sul, RS, Brasil, nos anos de 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c). 39

Figura 2 - Análise AMMI Biplot do caractere rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹) obtidos a partir da decomposição da matriz de BLUP para estudo da adaptabilidade (a) e análise WAASB x Y (b), considerando quatro genótipos de trigo em nove ambientes. 42

Figura 3 - Valores estimados de WAASBY para quatro genótipos de trigo considerando a percentagem de 50% estabilidade e 50% performance submetidos a nove ambientes de cultivo. 43

CAPÍTULO II: RELAÇÕES LINEARES ENTRE CARACTERES EM ENSAIOS DE TRIGO

Figura 1 - Temperatura máxima, média, mínima e precipitação para os anos do cultivo de 2016, 2017 e 2018. (a) Temperatura máxima, média e mínima e (b) precipitação para o primeiro ano de cultivo (c) temperatura máxima, média e mínima e (d) precipitação para o segundo ano de cultivo (e) temperatura máxima, média e mínima e (f) precipitação para o terceiro ano de cultivo. 64

Figura 2 - Análises de causa e efeito nas condições ambientais SS1 (a), SS2 (b) e SS3 (c)... 68

Figura 3 - Análises de causa e efeito nas condições ambientais SS4 (a), SS5 (b) e SS6 (c)... 69

Figura 4 - Análises de causa e efeito nas condições ambientais SS7 (a), SS8 (b) e SS9 (c)... 70

CAPÍTULO III: CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE CARACTERES DE TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES

Figura 1 - Temperaturas máxima e mínima diárias, em °C, das safras agrícolas 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) e precipitação mensal, em mm (d). 85

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: AMMI, REML/BLUP, WAASB e WAASBY EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES COM TRIGO

Tabela 1 - Datas de semeadura de trigo para cada época e ano produtivo totalizando nove ambientes de cultivo.	40
Tabela 2 – Performance relativa e ranqueamento dos genótipos de trigo e dos ambientes para rendimento de grãos (RG, kg ha ⁻¹)	41

CAPÍTULO II: RELAÇÕES LINEARES ENTRE CARACTERES EM ENSAIOS DE TRIGO

Tabela 1 - Coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres de trigo avaliados nas condições ambientais da primeira (SS1), segunda (SS2) e terceira (SS3) época de semeadura do ano de 2016.....	65
Tabela 2 - Coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres de trigo avaliados nas condições ambientais da primeira (SS4), segunda (SS5) e terceira (SS6) épocas de semeadura do ano de 2017.....	66
Tabela 3 - Coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres de trigo avaliados nas condições ambientais da primeira (SS7), segunda (SS8) e terceira (SS9) época de semeadura do ano de 2018.....	67

CAPÍTULO III: CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE CARACTERES DE TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES

Tabela 1 - Correlações canônicas e pares canônicos entre os grupos morfológico e produtivo para os ambientes de semeaduras em maio (SS1), junho (SS2) e julho (SS3) de 2016, avaliados com quatro genótipos de trigo.	86
Tabela 2 - Correlações canônicas e pares canônicos entre os grupos morfológico e produtivo para os ambientes de semeaduras em maio (SS4), junho (SS5) e julho (SS6) de 2017 avaliados com quatro genótipos de trigo.	87
Tabela 3 - Correlações canônicas e pares canônicos entre os grupos morfológico e produtivo para os ambientes de semeaduras em maio (SS7), junho (SS8) e julho (SS9) de 2018 avaliados com quatro genótipos de trigo.	88

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	HIPÓTESES.....	15
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo geral	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA	16
2.2	HISTÓRICO E MELHORAMENTO DO TRIGO NO BRASIL	17
2.3	CARACTERIZAÇÃO DA TRITICULTURA NA METADE SUL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	18
2.4	INTERAÇÃO GENÓTIPO × AMBIENTE (G × A).....	20
2.5	METODOLOGIAS PARA A AVALIAÇÃO DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE	21
2.6	RELAÇÕES ENTRE CARACTERES	22
3	CAPÍTULO I: AMMI, REML/BLUP, WAASB e WAASBY EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES COM TRIGO	24
3.1	INTRODUÇÃO	26
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.3	RESULTADOS.....	30
3.4	DISCUSSÃO	32
3.5	CONCLUSÃO	35
3.6	REFERÊNCIAS.....	35
4	CAPÍTULO II: RELAÇÕES LINEARES ENTRE CARACTERES EM ENSAIOS DE TRIGO	46
4.1	INTRODUÇÃO	48
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	49
4.3	RESULTADOS.....	52
4.4	DISCUSSÃO	56
4.5	CONCLUSÃO	60
4.6	REFERÊNCIAS.....	60
5	CAPÍTULO III: CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE CARACTERES DE TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES	71
5.1	INTRODUÇÃO	73
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	74
5.3	RESULTADOS.....	76
5.4	DISCUSSÃO	79
5.5	CONCLUSÃO	81
5.6	REFERÊNCIAS.....	81
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	APÊNDICE A – ANÁLISE DOS PRESSUPOSTOS DA NORMALIDADE DOS ERROS VIA TESTE DE SHAPIRO-WILK PARA CADA UM DOS CARACTERES EM CADA UM DOS AMBIENTES (SS).	95
	APÊNDICE B – ANÁLISE DOS PRESSUPOSTOS DA HOMOGENEIDADE DAS VARIÂNCIAS VIA TESTE DE LEVENE PARA CADA UM DOS CARACTERES EM CADA UM DOS AMBIENTES (SS).	96

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é considerado um dos cereais mais importantes no mundo, apresentando um crescimento de 29.82% na produção total nos últimos 20 anos, a qual foi de aproximadamente 765 milhões de toneladas de grãos produzidos no ano de 2019 (FAOSTAT, 2021). No Brasil, apesar da demanda da cultura ser crescente, a produção total apresenta grandes oscilações em aspectos quantitativos devido especialmente à instabilidade nos preços e a alta exigência de cuidados na sua produção e na comercialização (BAUMGRATZ et al., 2017).

A cultura do trigo possui grande relevância no sistema produtivo e isso ocorre em virtude da grande variedade de produtos que podem ser gerados. Dentre eles, destacam-se a destinação para a utilização em sistemas pastoris em trigos de duplo propósito (QUATRIN et al., 2017), além da produção de grãos e sementes (CAMPONOVARA et al., 2015) e da produção de farinhas e derivados. Para tanto, a seleção de genótipos em multiambientes e a recomendação adequada, com suas respectivas finalidades, são fatores determinantes quando se buscam produtos de maior produtividade e qualidade, visando o mercado consumidor do trigo (SILVA et al., 2015). Entretanto, a realização desse processo é limitada por condições ambientais e o estudo de forma mais ampla, a partir da avaliação da interação genótipo \times ambiente ($G \times A$), torna-se uma prática essencial para seleções de genótipos (MOHAMED, 2013).

Em experimentos realizados a campo é comum à ocorrência da interação $G \times A$, especialmente no que diz respeito a estudos com diferentes épocas de semeadura, níveis tecnológicos, bem como diferentes anos ou locais. Contudo, esta avaliação não proporciona informações detalhadas sobre a resposta dos genótipos em decorrência das variações ambientais, sendo estas identificadas a partir de análises estatísticas de adaptabilidade e estabilidade (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Battisti et al. (2013) considerando dados meteorológicos e estimativas potenciais da produtividade, concluíram que semeaduras mais tardias, como nos meses de junho e julho, são as mais recomendadas para o Estado do Rio Grande do Sul, visto que podem ser alcançadas as maiores produtividades. Apesar disso, estudos mais amplos envolvendo a adaptabilidade e estabilidade desses genótipos e em diferentes locais são de crucial relevância para estimativas ainda mais eficientes a respeito do rendimento de grãos (BORNHOFEN et al., 2017).

Apesar de muito comuns, os termos adaptabilidade e estabilidade podem apresentar variações quanto ao seu entendimento, gerando resultados ora interligados, ora dissociados.

Isso decorre em razão de cada metodologia utilizar-se de diferentes técnicas estatísticas para a sua determinação. De forma mais ampla, o conceito tradicional é de que a adaptabilidade seja relacionada à resposta dos genótipos frente às variações ambientais, enquanto que a estabilidade seja referida à previsibilidade e a invariação frente ao ambiente inserido (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Estudos com as metodologias AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*) e REML/BLUP (*Maximum Restricted Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction*) tem conquistado espaço na determinação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade na cultura do trigo, a citar os exemplos de Benin et al. (2012) e Bornhofen et al. (2017) com a metodologia AMMI e, Nardino et al. (2016a; 2016b) e Szaretsky et al. (2018) com a metodologia REML/BLUP. Outras metodologias recentes, como a WAASB, acrônimo para “*Weighted Average of Absolute Scores from the SDV of the matrix of BLUPs*” e WAASBY, acrônimo para “*Weighted Average of Absolute Scores estimated with Blup GEI matrix and GY variable*” (OLIVOTO; LÚCIO, 2020), também são alternativas para a avaliação destes parâmetros, sendo especialmente aplicadas para ensaios em multiambientes.

Além de se conhecer o desempenho dos genótipos em diferentes ambientes, a quantificação e a inter-relação existente entre caracteres também é de suma importância, especialmente no que tange à seleção indireta para o melhoramento de novos genótipos. Para isso, técnicas como a correlação de Pearson, análise de causa e efeito e a correlação canônica são algumas das estratégias comumente empregadas com a cultura do trigo, conforme evidenciado por Mohammadi; Farshadfar; Amri (2016), Todeschini et al. (2016) e Carvalho et al. (2015).

1.1 JUSTIFICATIVA

A demanda pela produção de alimentos oriundos da cultura do trigo e a instabilidade produtiva da cultura condicionada por fatores ambientais, econômicos e dependentes da qualidade do produto final tem influenciado no desenvolvimento de diversas pesquisas na área do melhoramento genético deste cereal, especialmente relacionados aos quesitos de adaptabilidade e estabilidade de novos materiais. Com isso, o uso de técnicas experimentais e o estudo das relações entre as variáveis tem influência direta com a definição de estratégias de seleção e a posterior recomendação de forma adequada dos materiais.

Ainda que se faça o uso de diversas metodologias relacionadas à avaliação de adaptabilidade e estabilidade nas interações $G \times A$, a comparação e uso das mesmas são de

crucial relevância no que corresponde à recomendação desses genótipos aos produtores. Ademais, essa importância é intensificada quando as condições ambientais testadas a esses genótipos são contrastantes ou possuem relação direta com o produto final.

Neste sentido, a utilização de diferentes metodologias estatístico-experimentais para a avaliação e fornecimento dessas informações aos pesquisadores sobre o emprego destas, a partir de análises biométricas e multivariadas para o estudo da adaptabilidade e estabilidade tem crucial importância.

1.2 HIPÓTESES

- O rendimento de grãos dos genótipos difere em relação aos ambientes (anos agrícolas e épocas de cultivo);
- Os genótipos diferem para cada ambiente em função da adaptabilidade e estabilidade;
- Há discordâncias entre as metodologias de análise estatística no ranqueamento das cultivares para os quesitos de adaptabilidade e estabilidade;
- As inter-relações entre os caracteres são modificadas em função dos ambientes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

- Determinar a adaptabilidade e estabilidade e a inter-relação entre caracteres em genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes e verificar as relações existentes entre os caracteres morfológicos e produtivos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Verificar, a partir da análise da variância conjunta, se existe a ocorrência da interação genótipo e ambiente.
- Estudar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de *T. aestivum* em diferentes épocas de semeadura e anos agrícolas e identificar se há discordância entre os métodos baseados em análise AMMI, REML/BLUP, WAASB e WAASBY.
- Estimar o coeficiente de correlação linear de Pearson para obter o grau de associação entre os caracteres.

- Estimar os efeitos diretos e indiretos de variáveis independentes sobre a variável dependente a partir da análise de trilha.
- Estimar as correlações canônicas existentes entre os grupos de caracteres morfológicos e produtivos para a determinação da associação entre os grupos e verificar quais caracteres podem ser utilizados como critérios para obtenção de maiores rendimentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma planta autógama, hexaploide ($2n = 42$), originária de gramíneas silvestres e seus primeiros relatos de surgimento datam de 10.000 a 15.000 a.C. nas proximidades dos rios Tigre e Eufrates na Ásia. Acredita-se que, no Brasil, sua introdução tenha ocorrido no início do século XVI na Capitania de São Vicente, no Estado do Rio de Janeiro, por intermédio de imigrantes europeus (SILVA et al., 1996). Com o passar dos séculos, em meio a oscilações em relação à área cultivada e a produção total, a cultura perde notoriedade e sua produção concentra-se especialmente nos estados da região sul do Brasil, aos quais ainda perdura até os dias de hoje (BORÉM; SCHEEREN, 2015; CONAB, 2021).

O cereal destaca-se como o terceiro mais cultivado no Brasil e no mundo, estando atrás apenas de culturas como milho e o arroz. Entretanto, o país ainda é um importador de trigo em virtude da necessidade de atender a demanda interna (CAMPONOGARA et al., 2015). A nível mundial destacam-se como principais produtores a China, Índia, Rússia, Estados Unidos e França, que juntos detém aproximadamente 52% de toda a produção mundial do cereal (FAO, 2021).

No Brasil, a produção nacional da cultura é concentrada principalmente nos estados da região sul do país. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), os Estados do Paraná (3088,8 mil t.), Santa Catarina (181,7 mil t.) e Rio Grande do Sul (2260,4 mil t.) são, de forma conjunta, responsáveis por mais 85% de toda a produção brasileira deste cereal. O Estado do Rio Grande do Sul representa, de maneira isolada, pouco mais de 1/3 de toda a produção nacional da cultura, ao qual atingiu 6234,6 mil toneladas produzidas no ano de 2020 (CONAB, 2021).

Em termos produtivos, a cultura tem oscilado nos últimos anos e isso tem ocorrido devido à grande variação dos custos de produção e venda do cereal, bem como devido à qualidade final do produto retirado do campo. Em consonância a isso, algumas das causas estão

relacionadas as condições climáticas como as fortes geadas no espigamento e o excesso de chuvas no momento da maturação fisiológica e na fase de pré-colheita, os quais são fatores que atenuam a produção total do cereal e acarretam na perda da qualidade final do produto destinado tanto para o mercado consumidor, quanto para a indústria (CONAB, 2019).

As épocas de semeadura recomendadas para o Estado do Rio Grande do Sul, mais especificamente para a região central do estado, compreendem os meses de maio, junho e julho (BRASIL, 2021). Entretanto, informações sobre a produção e as relações existentes entre estas épocas ainda são incipientes para cultura, sendo relevante a sua elucidação em diferentes anos agrícolas para melhores recomendações futuras.

2.2 HISTÓRICO E MELHORAMENTO DO TRIGO NO BRASIL

O melhoramento genético da cultura do trigo no Brasil começou em meados do ano de 1919, a partir da criação de duas estações experimentais localizadas nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul pelo Ministério da Agricultura. Nos primórdios, o melhoramento ocorreu por meio da coleta de sementes das cultivares oriundas de produtores da época, bem como a partir da seleção de plantas dentro das progênies dos genótipos. Em 1925, com o avanço do banco de sementes e genótipos da cultura, realizam-se as primeiras seleções artificiais do cereal (SOUZA; CAIERÃO, 2014).

A partir de 1970, o melhoramento da cultura passa a ser realizado concomitantemente em locais externos a região sul e ao país. Entre os anos de 1979 e 1990, foram entregues aos produtores 17 novas cultivares com diferentes características de adaptabilidade que, posteriormente, possibilitaram a expansão da produção agrícola do cereal para as demais regiões do Brasil (CAMARGO et al., 1987; SOUSA et al., 1998).

De acordo com Silva et al. (2015), a busca por materiais de alta produtividade e qualidade de grãos para a indústria tem ganhado espaço no que corresponde à seleção de genótipos de trigo. Além destas características, a tolerância ao acamamento, ao alumínio tóxico e a ampla adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos materiais também são características relevantes em pesquisas por novos materiais genéticos nesta cultura (MARCHIORO et al., 2009).

Transcorridos aproximadamente 100 anos do início do melhoramento genético com a cultura do trigo, os estudos entorno deste assunto bem como a liberação de novos genótipos ainda são uma constante no Estado do Rio Grande do Sul (SOUZA; CAIERÃO, 2014). Um dos principais fatores que impulsionam e auxiliam para a liberação de novos materiais é a presença

de empresas públicas e privadas de pesquisa com o cereal e o considerável progresso genético que pôde ser verificado nos últimos anos, especialmente na região norte do estado (FOLLMANN et al., 2017).

A Embrapa Trigo é uma das referências no que tange ao melhoramento público da cultura. Esta tem atuado junto a universidades como UFV, UFPEL, UFRGS e UTFPR para o avanço da genética de trigo. Por outro lado, empresas privadas como a Biotrigo, OR Sementes e CCGEL/TEC se caracterizavam em 2014 como algumas das principais do país no âmbito do melhoramento genético e banco de germoplasma privado (CAIERÃO et al., 2014), além de multinacionais como a BASF e a BAYER.

A busca por materiais resistentes a doenças em concomitância ao alcance de maiores produtividades junto a materiais adaptados e estáveis são ainda consideradas como focos na atualidade. Essa seleção, contudo, pode variar de acordo com a região onde a cultivar é melhorada, sendo a seleção específica de ambientes um desafio cada vez mais presente para a obtenção de melhores rendimentos, conforme relatado por Tester & Langridge (2010) em seu estudo.

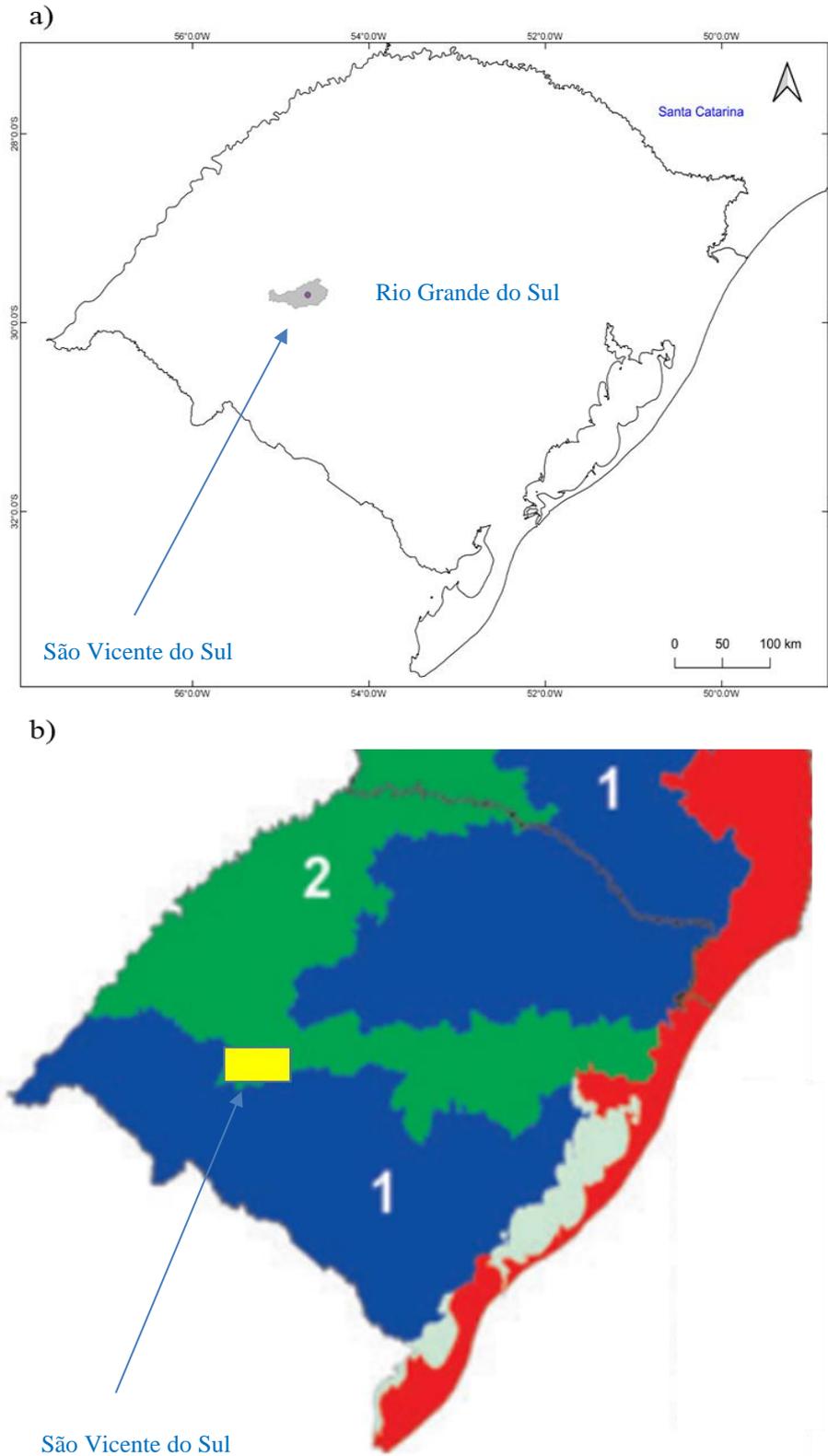
O avanço de pesquisas relacionadas à cultura, apesar de positiva, ainda carece de estudos estatísticos mais aprofundados para a adequada aplicação, recomendação e posterior seleção de materiais a nível experimental, visto que são fatores decisivos e partes fundamentais no que tange ao avanço dos materiais em estudo.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA TRITICULTURA NA METADE SUL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

O Estado do Rio Grande do Sul caracteriza-se pela presença de duas regiões homogêneas de cultivo, dentre as quatro existentes na divisão de aptidão para o cultivo do trigo no país (BRASIL, 2008a; BRASIL, 2008b). Nesse âmbito, a região da metade Centro-Sul do Estado do Rio Grande do Sul é considerada uma das regiões promissoras na produção, porém, que ainda possui uma alta demanda de informações para que avanços significativos possam ocorrer nesse contexto, visto a escassez de referências na literatura para estes ambientes de cultivo.

As duas regiões homogêneas de aptidão possuem condições ambientais distintas e variam conforme a adaptação e recomendação dos genótipos para a produção agrícola (Figura 1). A região homogênea “1” caracteriza-se por ser uma região predominantemente fria e úmida, ao passo que a região “2” é considerada uma região moderadamente quente e úmida (Figura 1).

Figura 1 - Caracterização do Estado do Rio Grande do Sul e do local da realização dos experimentos (a), e demonstração das regiões homogêneas de adaptação para cultivo de trigo e localização (b).



Fonte: a) Autor. b) Adaptado de Brasil (2008a; 2008b).

A região de São Vicente do Sul (RS), local da realização dos ensaios e caracterizada na região homogênea “2” de adaptação ainda pode ser considerada em ascensão no que tange ao cultivo do trigo (Figura 1a; Figura 1b). Apesar desse avanço, as informações e demandas nessa região de adaptação são concentradas em sua maioria na região das Missões do Estado do Rio Grande do Sul, que não necessariamente refletem as mesmas condições ambientais, ocasionando em variações expressivas no rendimento entre locais (FPS, 2021). Além disso, o impacto das condições agrometeorológicas entre ambientes e a generalização também pode levar a conclusões errôneas, sendo pertinente o estudo desses agentes de maneira detalhada.

Segundo Camponogara et al. (2015), apesar de o Estado do Rio Grande do Sul ser o segundo maior produtor nacional de trigo, as regiões norte e noroeste do estado são as maiores produtoras. Por outro lado, na metade Sul do Estado, a importância de bases científicas e estudos que contemplem informações a respeito dos ambientes, dos elementos meteorológicos e das épocas de semeadura são essenciais para que o cultivo nesses ambientes seja mais assertivo, sustentável e ao mesmo tempo rentável (BATTISTI et al., 2013).

Em termos potenciais de produção, a região pertencente a Metade Sul pode atingir rendimentos próximos ou até maiores a região Norte do Estado do Rio Grande do Sul (região 1), conforme evidenciado por Follmann et al (2017). Ainda segundo os autores, produtividades superiores a 3 t. ha⁻¹ têm sido evidenciadas nos últimos anos, sendo valores promissores, apesar da sensibilidade da cultura as condições meteorológicas anuais (FONTANA; JUNGES, 2011).

2.4 INTERAÇÃO GENÓTIPO × AMBIENTE (G × A)

Um dos principais componentes de rendimento para as culturas agrícolas como a produtividade, é dependente tanto de fatores genéticos, quanto ambientais, ou até mesmo de ambos em conjunto, resultando em diferenças no desempenho desses materiais quando submetidos a diferentes condições ambientais (YAN; HOLLAND, 2010). Estatisticamente, a verificação da presença ou ausência de interação G × A em experimentos agrícolas pode ser obtida a partir da análise da variância conjunta.

A presença da interação em estudos, se não for realizada adequadamente, pode dificultar o processo da seleção e a posterior indicação de genótipos para uma determinada cultura estudada. Esse fato, em geral decorre em virtude da alteração do progresso genotípico por meio dos ambientes (MOHAMED, 2013), resultando em menores ganhos de seleção e que podem ser contornados a partir de estudos entre metodologias comparativas que aumentem a acurácia nos processos de seleção (BORNHOFEN et al., 2017).

Para que se preceda a avaliação de forma mais específica dos processos que resultam da interação $G \times A$, pode se fazer o uso de métodos mais responsivos às variações de cada fator. Entretanto, a aplicação destes é dependente do conjunto de dados, conforme apontado por Bornhofen et al. (2017). Em razão disso, há metodologias que podem apresentar divergências em seus resultados e serem explicados de forma distinta, porém, a partir de parâmetros similares.

2.5 METODOLOGIAS PARA A AVALIAÇÃO DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

Existem diversas técnicas estatísticas disponíveis para a avaliação dos fatores adaptabilidade e estabilidade, como as obtidas a partir de análises da variância (ANOVA) ou regressão linear e regressão bissegmentada (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012), entre outras. Entretanto, estudos com metodologias recentes, ou antes, menos estudadas, tem aumentado e sido aplicados a culturas anuais de maior interesse agrícola.

Uma das alternativas às metodologias tradicionais é o emprego da metodologia REML/BLUP. Nestas, os modelos mistos atendem por ao menos um elemento fixo e outro aleatório. Em comparação a metodologia AMMI, estas são abordagens distintas que, em geral, são utilizadas para a mesma finalidade, à qual é distinguir o erro padrão da interação $G \times A$.

Estudos sobre a aplicação e a metodologia desta técnica já mostraram significância em experimentos com o desempenho em milho e trigo, além de discriminarem de forma eficiente os componentes da variância e permitirem o ranqueamento das predições genóticas de cultivares (NARDINO et al., 2016b, 2016a). Com a cultura do trigo, apesar da possibilidade da melhora na previsão em relação aos genótipos, é necessária a exata compreensão a respeito da interação dos genótipos, dos locais e das datas de semeadura para o correto agrupamento e aumento da eficácia da explicação (PIEPHO et al., 2016).

A análise AMMI é uma técnica estatística empregada para melhor interpretação, identificação e compreensão de problemas dos fatores genótipo e ambiente (FERREIRA; HONGYU, 2018). Esta combina em sua análise dois modelos estatísticos, um de componentes aditivos para os efeitos principais, e outro de componentes multiplicativos para os efeitos da interação genótipo e ambiente (GAUCH; PIEPHO; ANNICCHIARICO, 2008).

A realização de estudos em ensaios multiambientes é uma prática comum em empresas de melhoramento genético, especialmente quando se buscam genótipos mais adaptados, estáveis e produtivos (ROOSTAEI; MOHAMMADI; AMRI, 2014). Para tanto, a análise

AMMI mostra-se eficiente para a modelagem gráfica dos fatores da interação $G \times A$, embora falhe no aspecto da formação dos modelos lineares mistos (OLIVOTO et al., 2019).

A fim de que sejam minimizadas as problemáticas não resolvidas nas análises AMMI e REML/BLUP, foi recentemente proposto um novo índice denominado WAASB (OLIVOTO et al., 2019). O índice WAASB é uma nova metodologia que objetiva propor um novo método de estabilidade genotípica a partir de princípios do AMMI e REML/BLUP e, além disso, atuar também na identificação de genótipos estáveis e produtivos. Segundo Olivoto et al. (2019), algumas das vantagens dessa ferramenta são: ser uma medida de estabilidade quantitativa ao qual permite a classificação dos genótipos em termos de estabilidade da produção; a possibilidade da interpretação conjunta da produtividade e da estabilidade considerando todos os termos multiplicativos do modelo; e também a possibilidade da realização das análises com um banco de dados desbalanceado. Além do WAASB, Olivoto et al. (2019) propôs também a metodologia WAASBY, ao qual permite combinar os efeitos dos caracteres de acordo com os níveis esperados para obtenção do desempenho e da performance em relação a produtividade.

2.6 RELAÇÕES ENTRE CARACTERES

O estudo de relação entre caracteres é um aspecto de grande interesse em pesquisas onde variáveis explicativas podem ser correlacionadas com as variáveis dependentes, assim possibilitando a explicação da associação positiva ou negativa entre variáveis. Nesse âmbito, as análises de correlação de Pearson, de trilha e correlação canônica são eficientes, visto que buscam elucidar por meio de diferentes metodologias as relações existentes entre caracteres (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A correlação de Pearson, também chamada de correlação simples ou correlação fenotípica, pode ser empregada para avaliação do grau de relacionamento entre dois caracteres, sendo classificada a sua magnitude em intervalos entre -1 a 1. Segundo essa metodologia, a correlação linear positiva ($r = 1$), negativa ($r = -1$) ou nula ($r = 0$), representa a presença de relação linear quando estiver nos extremos (-1; 1) ou ausência desta quando a mesma apresentar valor zero (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015; CARVALHO et al., 2017; HOTELLING, 1936).

A correlação simples, apesar de apresentar eficiência na quantificação da magnitude e das influências dos fatores, não permite a análise dos efeitos diretos e indiretos dos fatores. Para isso, pode-se aplicar a análise de trilha, que é uma metodologia complementar onde os

coeficientes de correlação são desdobrados em efeitos diretos e indiretos, possibilitando a análise de variáveis de forma independente (WRIGHT, 1921; CARVALHO et al., 2017).

Para que a análise de trilha tenha resultados confiáveis, é necessária a realização do diagnóstico de multicolinearidade, que pode ser determinada a partir de duas metodologias. A primeira, chamada de FIV (Fator de Inflação da Variância) é obtida a partir da matriz inversa de correlação ($X'X$), e seus resultados devem ser < 10 para indicar fraca multicolinearidade. A segunda, denominada de número de condição (NC), é obtida a partir dos autovalores da matriz inversa e, quando o $NC < 100$ tem-se multicolinearidade fraca, $100 < NC < 1000$ tem-se multicolinearidade moderada a forte e quando $NC > 1000$ a multicolinearidade é considerada severa, necessitando a correção destas a partir da exclusão de variáveis ou a partir da análise em crista que corrige a partir de um fator “K” (MONTGOMERY; PECK, 1982).

Além das correlações já mencionadas, destaca-se também a correlação canônica, à qual é empregada para a identificação e quantificação da associação entre grupo de caracteres. Nestas é possível o agrupamento das variáveis de interesse com o intuito de se facilitar e proporcionar a seleção indireta de caracteres (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Para análise de correlação canônica, o diagnóstico de multicolinearidade é realizado dentro de cada grupo de caracteres (MONTGOMERY; PECK, 1982).

3 CAPÍTULO I: AMMI, REML/BLUP, WAASB e WAASBY EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES COM TRIGO

RESUMO

Dentre os cereais de inverno a cultura do trigo é considerada como a mais importante em termos econômicos e produtivos no Brasil. Todavia, muitas variações em termos de área produtiva e rendimento final da cultura ainda são observadas a cada ano agrícola e que são decorrentes, dentre muitos fatores, especialmente da alta sensibilidade da cultura as oscilações ambientais e da ausência de maiores informações a respeito dos genótipos e ambientes. Em razão disso, entender estas variações via análises estatísticas multivariadas é tarefa essencial para que ocorram esses progressos. O objetivo deste estudo foi identificar a resposta dos genótipos a diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade em ensaios multiambientes com trigo. Os experimentos foram realizados em esquema fatorial 4x9 em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e realizados em diferentes épocas de semeadura nas safras agrícolas dos anos 2016, 2017 e 2018. Os dados foram submetidos as análises individual, conjunta, AMMI, REML/BLUP, WAASB e WAASBY para identificação dos métodos mais adequados as condições ambientais e dos genótipos mais estáveis e adaptados para recomendação. Os resultados evidenciam que os ambientes apresentaram grandes variações climáticas entre os anos agrícolas e o ranqueamento dos genótipos divergiu entre as metodologias. Os métodos WAASB e WAASBY foram os melhores preditores da estabilidade e adaptabilidade a partir da associação da performance e desempenho dos genótipos com o rendimento de grãos. O genótipo mais estável e adaptado foi o TBIO Sossego e o mais instável e menos adaptado foi o TBIO Sintonia.

Palavras-Chave: *T. aestivum*, análise multivariada, rendimento, performance.

AMMI, REML/BLUP, WAASB e WAASBY IN MULTI ENVIRONMENT WHEAT TRIALS

ABSTRACT

Among the winter cereals, the wheat crop is considered the most important in economic and productive terms in Brazil. However, many variations in terms of productive area and final crop yield are still observed each agricultural year and are due to, among many factors, especially the high sensitivity of the crop to environmental fluctuations and the lack of further information about genotypes and environments. For this reason, understanding these variations via multivariate statistical analysis is an essential task for such progress to occur. The aim of this study was to identify the response of genotypes to different adaptability and stability methodologies in multi environment trials with wheat. The experiments were carried out in a 4x9 factorial scheme in a randomized block design, with four replications and carried out at different sowing times in the agricultural crops of the years 2016, 2017 and 2018. Data were submitted to individual, joint, AMMI, REML/BLUP, WAASB and WAASBY to identify the most suitable methods for environmental conditions and the most stable and adapted genotypes for recommendation. The results show that the environments showed great climatic variations between the agricultural years and the genotype ranking diverged between the methodologies. The WAASB and WAASBY methods were the best predictors of stability and adaptability based on the association of genotype performance and performance with grain yield. The most stable and adapted genotype was TBIO Sossego and the most unstable and least adapted was TBIO Sintonia.

Keywords: *T. aestivum*, multivariate analysis, grain yield, performance.

3.1 INTRODUÇÃO

No Brasil o Trigo (*Triticum aestivum* L.) destaca-se como sendo a cultura mais importante dentre os cereais de inverno. Estima-se que, em 2021, a produção nacional atinja 7.2 mil toneladas, representando um incremento de 16.9% comparado ao ano de 2020 e de aproximadamente 31.9% em relação ao ano de 2019 (CONAB, 2021; IBGE, 2021). Embora significativos, esses acréscimos ainda são insuficientes frente a demanda nacional já que o consumo interno é de aproximadamente 11.8 mil toneladas ao ano (CONAB, 2021).

Em nível mundial o rendimento médio de grãos oscilou entre 2972 a 3546 kg ha⁻¹ entre 2009 a 2019, enquanto que no Brasil os valores oscilaram entre 2080 a 3155 kg ha⁻¹, representando uma variação entre 10 a 30% menor no rendimento nacional da cultura (FAO, 2021). Tal característica pode ser oriunda das diferentes respostas das cultivares aos locais de cultivo, bem como dos diferentes níveis tecnológicos de manejo e das condições ambientais atuantes (BENIN et al., 2012).

Em geral, o cultivo do trigo é realizado principalmente em regiões de média ou alta altitude, sendo ainda escassas informações em regiões de baixa altitude, as quais são também mais características apresentando maiores temperaturas e condições mais úmidas (BRASIL, 2008a; 2008b). Com tal disparidade, informações a respeito do cultivo e da cultura nesses locais são essenciais para maiores assertividades no cultivo e avanços da área produtiva.

Avanços notáveis foram observados no desenvolvimento de novas cultivares e dos ganhos produtivos para a cultura do trigo em países como o Brasil (BECHE et al., 2014; FOLLMANN et al., 2017), China (XIAO; TAO, 2014) e Estados Unidos (TESSEMA et al., 2020). Entretanto, muitas dificuldades ainda estão presentes como a sensibilidade as oscilações ambientais, as quais influenciam diretamente no rendimento e na qualidade final do grão produzido (ASSENG et al., 2015; HATFIELD; DOLD, 2018).

Dentre as ferramentas que contribuem para o melhoramento da cultura, a evolução das técnicas e metodologias estatísticas, e a sua utilização adequada, é essencial nos processos de seleção de genótipos promissores, especialmente quando avaliados em ensaios multiambientais, os quais são aqueles formados pela combinação de anos, locais ou épocas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Em casos como o da interação genótipo \times ambiente ($G \times A$) significativa, os estudos são mais complexos e os métodos mais adequados de explicação dos efeitos dos genótipos e de como interagem com os diferentes ambientes podem se modificar a depender do conjunto de dados, sendo interessante, portanto, estudá-los de acordo com cada contexto (BORNHOFEN et

al., 2017). Além disso, em alguns casos, as técnicas de estudo entre a interação $G \times A$ ainda são gerais e não predisõem adequadamente sobre maiores informações a respeito dos genótipos, sobressaindo-se as análises de adaptabilidade e estabilidade que melhor as evidenciam (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; WOYANN et al., 2018). Tais análises, além de elucidar conhecimentos sobre as cultivares, contribuem também para a expansão de fronteiras de cultivo, as quais são dependentes de cultivares adaptadas a esses novos locais (CASAGRANDE et al., 2020).

Dentre as possibilidades existentes para se estudar a adaptabilidade e estabilidade em ensaios multiambientes destacam-se as metodologias REML/BLUP (*Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction*) proposta por Resende (2007) e AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*) proposta por Gauch (1992) como sendo as mais usuais.

Recentemente novas metodologias na genética quantitativa têm surgido, como os índices WAASB (*Weighted Average of Absolute Scores estimated with Blup GEI matrix*) e WAASBY (*Weighted Average of Absolute Scores estimated with Blup GEI matrix and GY variable*) propostas por Olivoto et al. (2019) e têm ganhado espaço e aplicabilidade em diversas culturas agrícolas como cevada (AHAKPAZ et al., 2021) e milho (OLIVOTO et al., 2017). Contudo, aplicações com o uso dessa metodologia na cultura do trigo ainda são escassas, sendo pertinente o seu conhecimento e comparação as estatísticas já existentes.

Neste âmbito, análises como a interação genótipo \times ambiente e o estudo da adaptabilidade e estabilidade associadas a novas estratégias estatísticas são cruciais para que estas possam nortear novas pesquisas e o avanço genético das culturas agrícolas, especialmente em trigo onde os estudos ainda são insuficientes. Ademais, a demanda de informações sobre os genótipos é evidenciada não só por melhoristas, mas também por parte de técnicos e produtores, o que limita por vezes o aumento das áreas e a adequada recomendação a esses locais de cultivo.

Portanto, o objetivo do estudo foi identificar a resposta dos genótipos a diferentes metodologias REML/BLUP, AMMI, WAASB e WAASBY de adaptabilidade e estabilidade em ensaios multiambientes com trigo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos com quatro repetições foram conduzidos em delineamento blocos ao acaso com quatro genótipos e nove ambientes, em um fatorial 4×9 , durante as safras agrícolas 2016/2017/2018 na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

Farroupilha em São Vicente do Sul, RS, Brasil (29°42'21" S; 54° 41'39" W; e altitude de 134 m), classificada com solo argissolo vermelho distrófico arênico e, segundo a classificação de Köppen, com clima do tipo Cfa com verões quentes e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (ALVARES et al., 2013).

Cada ano agrícola compreende três épocas de semeadura, as quais ocorreram entre os meses de maio, junho e julho de cada ano, atendendo as recomendações do zoneamento agroclimático da cultura para a região, ao passo que as colheitas foram realizadas entre os meses de outubro e novembro de cada ano (Tabela 1).

Os genótipos de *T. aestivum* são todos comerciais com diferentes ciclos de maturação e potencialidades de uso, sendo estes TBIO Sintonia (ciclo precoce, potencialidade para trigo melhorador), TBIO Sinuelo (ciclo tardio, potencialidade para trigo pão), TBIO Sossego (ciclo médio, potencialidade para trigo pão) e TBIO Toruk (ciclo médio, potencialidade para trigo de dupla finalidade: pão e melhorador) (BIOTRIGO, 2017).

Dentre as genealogias de cada um dos genótipos, TBIO Sintonia é oriundo dos cruzamentos de Marfim/Quartzo/Marfim; TBIO Sinuelo é oriundo de Quartzo/3/Fundacep 30/Ônix/Pampeano/Marfim; TBIO Sossego é oriundo de BIO 08400 'S'/Quartzo//Quartzo; TBIO Toruk é oriundo de Mirante/IBIO 0901//Quartzo (BIOTRIGO, 2020). Três destes possuem traços do mesmo parental, o que evidencia certa similaridade genética entre estes.

Na área experimental a densidade considerada para a semeadura foi de 350-450 sementes por m² e a adubação foi realizada considerando o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004), com expectativa de 5 ton ha⁻¹. Da mesma maneira, o controle de pragas, doenças e plantas daninhas ocorreu seguindo as recomendações para a cultura por meio do Informativo Técnico para Trigo e Triticale (2016).

As análises estatísticas iniciais compreendem as análises das metodologias REML/BLUP de estabilidade (HMGV, (1)), adaptabilidade (RPGV, (2)), e adaptabilidade e estabilidade associadas (HMRPGV, (3)) pelo teste razão de verossimilhança (LRT) de significância via qui-quadrado (χ^2) (RESENDE, 2007), AMMI (4) (GAUCH, 1992), WAASB (5) e WAASBY (6) (OLIVOTO et al., 2019), conforme descritas pelas fórmulas a seguir:

$$HMGV_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^e \frac{1}{BLUP_{ij}}} \quad (1)$$

sendo: $HMGV_i$ a média harmônica dos valores genéticos para estabilidade, e é o número de ambientes, $BLUP_{ij}$ o valor genético da predito do genótipo i no ambiente j .

$$RPGV_i = \frac{1}{e} \sum_{j=1}^e BLUP_{ij} / \mu_j \quad (2)$$

sendo: $RPGV_i$ é a performance relativa dos valores genéticos para adaptabilidade, e é o número de ambientes, $BLUP_{ij}$ é o valor genético predito do genótipo i no ambiente j , μ_j é a média dos genótipos no ambiente j .

$$HMRPGV_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^E \frac{1}{BLUP_{ij}/\mu_j}} \quad (3)$$

Sendo: $HMRPGV_i$ é a média dos valores genéticos preditos para adaptabilidade e estabilidade associados, $BLUP_{ij}$ é o valor genético da predito do genótipo i no ambiente j , μ_j é a média dos genótipos no ambiente j .

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum \lambda_k G_{ik} A_{jk} + \rho_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (4)$$

sendo: Y_{ij} é a média do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente, $i=1,2,\dots,g$ e $j=1,2,\dots,g$; μ é a média geral; G_i e A_j são os efeitos do i -ésimo genótipo e o j -ésimo ambiente; $\sum \lambda_k$ sendo o k -ésimo valor singular da matriz $(G \times A)$ com $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_n$; $G_{ik} A_{jk}$ são os elementos dos k -ésimos valores singulares com relação aos i -ésimos genótipos e j -ésimos ambientes; ρ_{ij} é o resíduo da interação $G \times A$, e ϵ_{ij} é o erro médio experimental associado ao i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente, assumindo que o erro seja independente.

$$WAASB = \sum_{k=1}^k |PCA_{ik} \times PE_k| / \sum_{k=1}^n PE_k \quad (5)$$

sendo: PCA_{ik} é o escore do i -ésimo genótipo no k -ésimo PCA, obtidos pela decomposição da matriz singular de BLUPs para modelos mistos; e PE_k é a percentagem da variância explicada pelo k -ésimo PCA, para $k = 1, 2, \dots, k$.

Os valores de RG e $WAASB$ foram transformados para a mesma escala (percentagem) para serem diretamente comparados. A expressão utilizada foi:

$$WAASBY_i = \frac{\{W_{GY} \times [(\frac{GY_i}{GY_{max}}) \times 100]\} + [W_s \times (100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{min}})]}{W_{GY} + W_s} \quad (6)$$

sendo: $WAASBY_i$ é a média ponderada dos escores absolutos e do rendimento para o i -ésimo genótipo, W_{RG} é o peso para o rendimento de grãos RG_i é o rendimento médio do i -ésimo genótipo considerando todos os ambientes; RG_{max} é o maior rendimento médio entre os genótipos; W_s é o peso para a estabilidade $WAASB_i$ é a média ponderada dos escores absolutos do i -ésimo genótipo e $WAASB_{min}$ é o menor valor da média ponderada dos escores absolutos.

As análises de modelos mistos como REML/BLUP, WAASB e WAASBY consideraram o fator genótipo como sendo de efeito fixo e o fator ambiente como sendo de efeito aleatório, ao passo que para a análise AMMI ambos efeitos foram considerados como sendo fixos.

O principal caractere estudado foi rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹). Todavia, caracteres como: altura de planta (AP, cm), comprimento da espiga principal (CEP, cm), comprimento da espiga do perfilho (CEA, un.), número de espiguetas na espiga principal (NEP), número de espiguetas na espiga do perfilho (NEA, un.), número de grãos na espiga principal (NGP, un.), número de perfilhos na fase vegetativa (PFV, un.), número de perfilhos produtivos (PFP, un.), impurezas (IMP, g. cm⁻³), peso hectolitro (PH, g. cm⁻³) e massa de mil grãos (MMG, g) também foram considerados para aplicação da metodologia WAASB e WAASBY.

Os atributos dos caracteres para as metodologias WAASB e WAASBY foram construídos conforme os objetivos do melhoramento da cultura do trigo, onde foram designados para este estudo menores valores de AP e IMP e maiores valores de CEP, CEA, NEP, NEA, NGP, PFV, PFP, PH e MMG como sendo os padrões de um genótipo ideal.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do pacote metan (OLIVOTO; LÚCIO, 2020) do Software R Core Team (2019), considerando-se os níveis de probabilidade de erro de 5%.

3.3 RESULTADOS

As condições ambientais contrastantes nos três anos agrícolas indicam que as temperaturas mínimas e máximas mensais pouco se modificaram dentro de cada ano agrícola, porém, houve a ocorrência de temperaturas negativas, geadas tardias e até mesmo estresses por temperaturas altas em diferentes momentos do ciclo que incidiram sobre o desenvolvimento da cultura. No que se refere as maiores divergências, a precipitação foi o principal componente que apresentou alterações de até 300.6 mm dentre os anos de 2016, 2017 e 2018, onde os volumes totais foram de 968.7, 1128.2 e 827.6 mm, respectivamente (Figura 1).

Em anos de menor precipitação como evidenciado na condição de 2018, verifica-se maior favorecimento a doenças como brusone, ao passo que para anos mais chuvosos ou de intensas geadas a presença de giberela pode ser o maior limitante para o rendimento e qualidade final dos grãos.

Considerando as diferentes respostas frente aos ambientes a decomposição destes atuantes fatores atuantes foi realizada (Material Suplementar 1). A predição via uso de médias harmônicas não indicou diferenças no ranqueamento por meio das metodologias de adaptabilidade (RPGV), estabilidade (HMGV) e adaptabilidade e estabilidade associadas (HMRPGV) (Tabela 2), o que possivelmente ocorreu em razão do teste LRT via χ^2 ter sido não

significativo para a interação genótipo \times ambiente (Material Suplementar 2). Apesar de RG não ser significativo para essa metodologia, o contrário ocorreu para a análise AMMI em que houve significância pelo teste F para a interação (Material Suplementar 2). Os genótipos em ordem de ranqueamento para essas metodologias foram idênticas, sendo elas TBIO Sinuelo, TBIO Sossego, TBIO Toruk e TBIO Sintonia (Tabela 2).

O ranqueamento dos genótipos quando comparada a metodologia WAASB de estabilidade que é realizada por meio da matriz BLUP da interação $G \times A$ se modifica e mostra que TBIO Sintonia é o único que permanece sendo o mais instável dentre todos os demais pelo maior valor do índice WAASB (12.78), seguido de TBIO Sinuelo (10.68) (Tabela 2). TBIO Sossego e TBIO Toruk são, nesta ordem, os mais estáveis genotipicamente atingindo os menores índices de 5.72 e 5.97, respectivamente (Tabela 2).

A análise BLUP realizada para o fator ambiente demonstra que o ranqueamento das épocas apresenta grande variação de acordo com os anos. Apesar disso, percebe-se que, embora não sejam as épocas mais produtivas, as posições 3, 4 e 5 do ranqueamento via BLUP evidenciam que a segunda época de semeadura de cada ano poderia ser a mais adequada em termos produtivos e em casos de maiores variações dos elementos meteorológicos como precipitação e temperatura (Tabela 2).

Considerando a análise AMMI Biplot que associa a parte gráfica para representação de resultados entre os genótipos e ambientes, observa-se que os dois componentes principais somados explicam 81.87% de toda a variação existente na $G \times A$ (Figura 2a). No que tange aos genótipos, verifica-se que TBIO Sossego é o que menos contribuiu para a interação $G \times A$ por estar situado mais próximo do eixo zero, sendo, portanto, o mais estável em relação aos genótipos testados (Figura 2a).

Considerando os ambientes na análise AMMI Biplot verifica-se que 2016_1, 2016_3 e 2018_1 e 2018_2 são os que mais discriminam os genótipos favorecendo a seleção, visto que estes estão mais distantes do centro de origem. Já os mais próximos da origem, 2017_1, 2017_2, 2017_3 e 2018_3, discriminam menos, evidenciando que a condição anual do ano de 2017, das condições 2017_1 a 2017_3, foi a mais adequada se comparado ao quesito época (Figura 2a).

A formação do polígono, a partir da interligação, permite melhor observar o desempenho dos genótipos entre os ambientes, evidenciando que os que se encontram dentro deste seriam os mais adaptados aos referidos ambientes (Figura 2a). Estes, ainda separados por linhas perpendiculares em setores (S1, S2 e S3), apresentam os rendimentos de acordo com o ambiente. TBIO Toruk e TBIO Sossego, localizados em S1, foram os mais produtivos em

2016_2, enquanto que TBIO Sinuelo, em S2, foi mais produtivo em 2018_3, 2017_3 e 2018_2. Já TBIO Sintonia, em S3, foi o mais produtivo em 2016_1, 2017_2 e 2016_3. (Figura 2a).

O método WAASB Biplot x Y compara a estabilidade por meio das médias absolutas dos valores ponderados em concomitância a RG, onde menores valores de WAASB indicam os genótipos mais estáveis e maiores valores de RG indicam os mais produtivos. Nesta técnica quatro quadrantes (I, II, III e IV) discriminam as diferenças, sendo o quadrante IV o ideal que reúne os itens de estabilidade e rendimento de forma simultânea para os genótipos e ambientes estudados, e o quadrante I o menos estável e com rendimento abaixo da média geral traçada em paralelo (Figura 2b).

Os resultados obtidos por meio do índice WAASB Biplot x Y revelaram que TBIO Sossego e Toruk foram os genótipos mais estáveis (2940 e 2861 kg ha⁻¹), embora TBIO Sinuelo tenha sido o mais produtivo (3279 kg ha⁻¹). Já o genótipo TBIO Sintonia foi o menos estável e também o menos produtivo dentre os estudados, atingindo apenas 2576 kg ha⁻¹, caracterizando uma redução de 703 kg ha⁻¹ em referência que o mais produtivo (Figura 2b).

O método WAASB, caracterizado por comparar as matrizes dos modelos mistos da interação, quando relacionado a RG apontou para uma grande variação no que tange aos ambientes, evidenciando que para as épocas não é possível uma conclusão unânime de recomendação quanto a semeadura. Por este método, os ambientes 2018_2, 2016_1 e 2016_3 apresentaram produtividades acima da média geral. Além disso, tais ambientes apresentam maior poder de discriminação em relação aos ambientes 2016_2 e 2017_2, que apresentam menor poder devido ao menor valor de WAASB e produtividades próximas ou superiores à média geral (Figura 2b).

Em virtude da presença de ambientes bem distintos, ressalta-se a necessidade e o mérito de se considerar a escolha de genótipos mais estáveis para que as influências no rendimento final não sejam muito expressivas (Figura 3). Essa importância, estudada pela combinação entre a performance e o desempenho entre RG e estabilidade via WAASBY, estabelecido igualmente a 50% de cada característica, evidenciou que os genótipos mais representativos e com valores maiores foram TBIO Sossego, TBIO Toruk e TBIO Sinuelo, os quais correspondem os maiores valores do índice WAASBY de 75.9, 68.5 e 64.9. Já o genótipo TBIO Sintonia caracterizou-se como o menos estável apresentando valor zero (Figura 3).

3.4 DISCUSSÃO

Dentre os efeitos mais recorrentes e que tornam a produção do trigo mais instável, destacam-se as oscilações de temperatura, precipitação, geadas tardias e também as diferentes altitudes (POSSATTO et al., 2017). Com exceção da altitude que manteve-se constante em nosso estudo (Figura 1), todos demais componentes que apontam a grande atuação das variações ambientais sobrepostas as variações genéticas corroboram e foram também evidenciadas por Woyann et al. (2019) e Meier et al. (2019).

As condições ideais para o cultivo do trigo são temperaturas entre 15-20° C na fase do perfilhamento e entre 20-25°C na fase de desenvolvimento de folhas (BORÉM; SCHEEREN, 2015). Já as condições de precipitação são bastante variáveis oscilando entre 400 a 600 mm a depender do ciclo para cultivos de sequeiro, do genótipo, do local e do estágio a qual a cultura se encontra a campo (CORDEIRO et al., 2015).

A maior atuação dos elementos meteorológicos em relação ao genótipo em ensaios multiambientais é um fato recorrente na cultura do Trigo e, por consequência, pode ocasionar em diferenças expressivas de produtividade entre os anos agrícolas (ROOSTAEI et al., 2014). Bornhofen et al. (2017), em associação ao nosso estudo (Tabela 2), encontrou valores superiores de RG considerando seis ambientes distintos do Estado do Paraná, os quais oscilaram entre 2594 a 5125 kg ha⁻¹ em dois anos agrícolas estudados, confirmando amplitudes consideráveis que podem ocorrer entre as safras.

Em comparação as médias observadas de RG em outras regiões e estados, Benin et al. (2017) constatou valores de rendimento de 3306 kg ha⁻¹ na região norte do estado do Rio Grande do Sul e no Estado do Paraná, sendo estes superiores a este estudo. Médias de RG elevadas foram também constatadas por Follmann et al. (2017), atingindo entre os anos de 2002 a 2013 valores de rendimento até 16% maiores para a mesma microrregião considerada neste estudo (Tabela 2).

O fato da metodologia REML/BLUP não ter resultado em diferenças significativas LRT via qui-quadrado e, por consequência, não ter resultado em diferenças no ranqueamento dos quesitos de adaptabilidade e estabilidade possivelmente ocorreu em razão dos genótipos apresentarem a mesma base genética as quais são provenientes, fazendo que estas respondessem de forma similar mesmo em condições ambientais muito distintas (Tabela 2). Outro fator para a não significância é a dissociação dos efeitos que a metodologia realiza, onde são separados os efeitos fixos, aleatórios e da interação, bem como são eliminados o erro experimental da interação a partir do BLUP em comparação a outros métodos (RESENDE, 2007).

Szareski et al. (2018) estudando uma quantidade maior de genótipos em região similar de cultivo encontrou diferenças no ranqueamento entre as metodologias RPGV, HMGV e

HMRPGV via REML/BLUP para os genótipos TBIO Toruk, TBIO Sintonia, TBIO Sinuelo e TBIO Sossego quando associados a outros genótipos. Apesar das diferenças no desempenho, todos estes genótipos apresentaram médias de rendimento inferiores as encontradas neste estudo (Tabela 2).

Na metodologia AMMI, a separação entre os efeitos como ocorre em REML/BLUP não se aplica visto que todos efeitos, à exceção do bloco, são assumidos como fixos (GAUCH, 1992). A explicação via componentes principais acima de 80% é satisfatória (RENCHE, 2002) e superior a outros estudos como o de Motzo et al. (2015) e de Singh et al. (2019) com a cultura do trigo (Figura 2a).

Autores como Benin et al. (2012), Bornhofen et al. (2017) e Singh et al. (2019) indicam a análise AMMI como adequada para identificação de ambientes promissores por meio dos genótipos, embora isso não seja uma regra e se modifique a depender do conjunto de dados. Em seus resultados, Bornhofen et al. (2017) encontrou distinções quanto as estimativas de ranqueamento via REML/BLUP no estado do Paraná ao contrário do presente estudo onde não houve diferenciação no ranqueamento entre os genótipos testados (Tabela 2).

Características a respeito da adaptabilidade e a estabilidade são essenciais para os produtores da cultura do Trigo, o que possibilita torná-la uma cultura potencial a ser cultivada, especialmente em locais onde sua introdução ainda é recente. Os resultados obtidos no quesito adaptabilidade comprovam que os genótipos são adaptados à região de cultivo em qualquer um dos ambientes testados, o que está de acordo com a recomendação dada pelos obtentores em relação a macrorregião e as épocas de semeadura (BIOTRIGO, 2017) (Tabela 2).

No âmbito da estabilidade dos genótipos aos locais testados, observa-se que WAASB respondeu de maneira distinta as metodologias REML/AMMI, apesar do menos estável em todas as metodologias ter sido o mesmo, TBIO Sintonia. Tais resultados corroboram com o que é também evidenciado nas figuras (Figura 2a e 2b) e confirmam com mais assertividade considerando todos os demais 11 caracteres avaliados. Essa divergência entre as metodologias não foi observada por Ahakpaz et al. (2021) em estudo com a cultura da cevada demonstrando que as metodologias estavam de acordo na similaridade dos resultados entre estas.

Apesar dos genótipos possuírem mesma base genética, WAASB e WAASBY apresentaram diferenças no ranqueamento quanto ao desempenho e performance que outras metodologias não diferenciaram. Isso possivelmente ocorreu em razão do uso amplo de variáveis para a predição do método, sendo benéfico na busca e quantificação de diferenças (OLIVOTO et al., 2019). Além disso, tal resultado comprova que o método pode ser superior

não apenas em casos onde há grande diversidade genética, mas também quando há certas similaridades entre os genótipos, apontando até mesmo pequenas distinções.

3.5 CONCLUSÃO

Os métodos WAASB e WAASBY apresentaram ranqueamento distinto dos métodos AMMI e REML/BLUP, apresentando-se mais eficientes para seleção a partir da combinação do desempenho e performance dos genótipos.

Os genótipos de trigo TBIO Sossego e TBIO Toruk possuem melhor desempenho e performance nos ambientes testados e TBIO Sintonia apresentou o pior desempenho para essas características.

Os ambientes diferem quanto as épocas de semeadura sendo que as oscilações ambientais durante o ano são mais expressivas do que nas épocas para os genótipos testados.

3.6 REFERÊNCIAS

AHAKPAZ, F.; ABDI, H.; NEYESTANI, E.; HESAMI, A.; MOHAMMADI, B.; MAHMOUDI, K.N.; ABEDI-ASL, G.; NOSHABADI, M.R.J.; AHAKPAZ, F.; ALIPOUR, H. Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. **Agricultural Water Management**, v.245, p.1-9, 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106665.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES GONÇALVES, J.L. DE; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ASSENG, S. et al. Rising temperatures reduce global wheat production. **Nature Climate Change**, v.5, p.143–147, 2015. DOI: 10.1038/nclimate2470.

BECHE, E.; BENIN, G.; SILVA, C.L. DA; MUNARO, L.B.; MARCHESI, J.A. Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, v.61, p.49–59, 2014. DOI: 10.1016/j.eja.2014.08.005.

BENIN, G.; PINNOW, C.; SILVA, C.L. DA; PAGLIOSA, E.S.; BECHE, E.; BORNHOFEN, E.; MUNARO, L.B.; SILVA, R.R. Análises biplot na avaliação de cultivares de trigo em diferentes níveis de manejo. **Bragantia**, v.71, p.28–36, 2012. DOI:10.1590/S0006-87052012000100005.

BENIN, G.; STORCK, L.; MARCHIORO, S. V.; BORNHOFEN, E.; WOYANN, L.G.; TREVIZAN, D.M. Environment-specific selection to identify high yielding wheat genotypes and response to fungicide application. **Rev. Ceres**, v.64, p.167-175, 2017. DOI: 10.1590/0034-737X201764020009

BIOTRIGO. **Guia de Cultivares TBIO**. 31p. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa n.º 3, de 14 de outubro de 2008. In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. 15 de outubro de 2008a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa n.º 2, de 09 de outubro de 2008. In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. 13 de outubro de 2008b.

BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo: do plantio à colheita**. Editora UFV, 260p. 2015.

BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; STORCK, L.; WOYANN, L.G.; DUARTE, T.; STOCO, M.G.; MARCHIORO, S.V. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Bragantia**, v.76, p.1–10, 2017. DOI: 10.1590/1678-4499.557.

CASAGRANDE, C.R.; MEZZOMO, H.C.; CRUZ, C.D.; BORÉM, A.; NARDINO, M. Choosing parent tropical wheat genotypes through genetic dissimilarity based on reml/ blup. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.20, p.1–10, 2020. DOI: 10.1590/1984-70332020v20n3a50.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v.7, p.1–89, 2021.

CORDEIRO, M.B.; DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L.; SEABRA JUNIOR, S.; SANTI, A.; FENNER, W. Aptidão agroclimática do trigo para as regiões de Rondonópolis, São José do Rio Claro, São Vicente e Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. **Revista Agroambiente Online**, v.9, p.96-101, 2015. DOI: 10.5327/Z1982-8470201500012177.

CQFS. **Manual de Adubação e de Calagem para os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 10º ed., 400p, 2004.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4º ed. Viçosa: Editora. UFV, 585p, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Informações técnicas para Trigo e Triticale**, 229p, 2016.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>.

FOLLMANN, D.N.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A.D.; SOUZA, V.Q. DE; CARAFFA, M.; WARTHA, C.A. Genetic progress in homogeneous regions of wheat cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.16, p.1-9, 2017. DOI: 10.4238/gmr16019517.

GAUCH, H.G. **Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs**. 1° ed., 278p, 1992.

HATFIELD, J.L.; DOLD, C. Agroclimatology and wheat production: Coping with climate change. **Frontiers in Plant Science**, v.9, p.1–5, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.00224.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, v.2, 95p, 2021.

MEIER, C.; MEIRA, D.; MARCHIORO, V.S.; OLIVOTO, T. Selection gain and interrelations between agronomic traits in wheat F 5 genotypes. **Revista Ceres**, v.66, p.271–278, 2019. DOI: 10.1590/0034-737X201966040005.

MOTZO, R.; PRUNEDDU, G.; VIRDIS, A.; GIUNTA, F. Triticale vs durum wheat: A performance comparison in a Mediterranean environment. **Field Crops Research**, v.180, p.63–71, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.05.007.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D.; SILVA, J.A.G.; MARCHIORO, V.S.; SOUZA, V.Q.; JOST, E. Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. **Agronomy Journal**, v. 3, p. 2949-2960, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M.; CARVALHO, I.R.; FOLLMANN, D.N.; FERRARI, M.; SZARESKI, V.J.; PELEGRIN, A.J. DE; SOUZA, V.Q. DE. REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits. **Genetics and Molecular Research**, v.16, p.1–19, 2017. DOI: 10.4238/GMR16019525.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D.C. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v.11, p.783–789, 2020. DOI: 10.1111/2041-210X.13384.

POSSATTO, O.; FARIA, M.V.; MENDES, M.C.; OLIBONI, R.; BARCELLOS, A.L.; GUERRA, E.P. Adaptability and stability of wheat genotypes on ten environments in the states of Paraná and São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, p.113–121, 2017. DOI: 10.5039/agraria.v12i2a5426.

R CORE TEAM, 2019. R: a language and environment for statistical computing. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acessado 5 abr. 2021.

RENCHE, A.C. **Methods of Multivariate Analysis**. 2nd ed. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2002. 738p. DOI: 10.1002/0471271357.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e Estatística na Análise de Experimentos e no Melhoramento Genético**. Colombo, 561p, 2007.

ROOSTAEI, M.; MOHAMMADI, R.; AMRI, A. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. **Crop Journal**, v.2, p.154–163, 2014. DOI: 10.1016/j.cj.2014.02.002.

SINGH, C.; GUPTA, A.; GUPTA, V.; KUMAR, P.; SENDHIL, R.; TYAGI, B.S.; SINGH, G.; CHATRATH, R.; SINGH, G.P. Genotype x environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.19, p.309–318, 2019. DOI: 10.1590/1984-70332019v19n3a43.

SZARESKI, V.J.; CARVALHO, I.R.; KEHL, K.; LEVIEN, A.M.; NARDINO, M.; DELLAGOSTIN, S.M.; DEMARI, G.H.; LAUTENCHLEGER, F.; VILLELA, F.A.; PEDÓ, T.; SOUZA, V.Q. DE; AUMONDE, T.Z. Adaptability and stability of wheat genotypes according to the phenotypic index of seed vigor. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.53, p.727–735, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000600009.

TESSEMA, B.B.; LIU, H.; SØRENSEN, A.C.; ANDERSEN, J.R.; JENSEN, J. Strategies Using Genomic Selection to Increase Genetic Gain in Breeding Programs for Wheat. **Frontiers in Genetics**, v.11, p.1–12, 2020. DOI: 10.3389/fgene.2020.578123.

WOYANN, L.G.; MILIOLI, A.S.; BOZI, A.H.; DALLÓ, S.C.; MATEI, G.; STORCK, L.; BENIN, G. Repeatability of associations between analytical methods of adaptability, stability, and productivity in soybean. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.53, p.63–73, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000100007.

WOYANN, L.G.; ZDZIARSKI, A.D.; ZANELLA, R.; ROSA, A.C.; CASTRO, R.L. DE; CAIERÃO, E.; TOIGO, M.D.C.; STORCK, L.; WU, J.; BENIN, G. Genetic gain over 30 years of spring wheat breeding in Brazil. **Crop Science**, v.59, p.2036–2045, 2019. DOI: 10.2135/cropsci2019.02.0136.

XIAO, D.; TAO, F. Contributions of cultivars, management and climate change to winter wheat yield in the North China Plain in the past three decades. **European Journal of Agronomy**, v.52, p.112–122, 2014. DOI: 10.1016/j.eja.2013.09.020.

Figura 1 - Temperatura mínima, máxima e precipitação nas épocas de cultivo do trigo em São Vicente do Sul, RS, Brasil, nos anos de 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c).

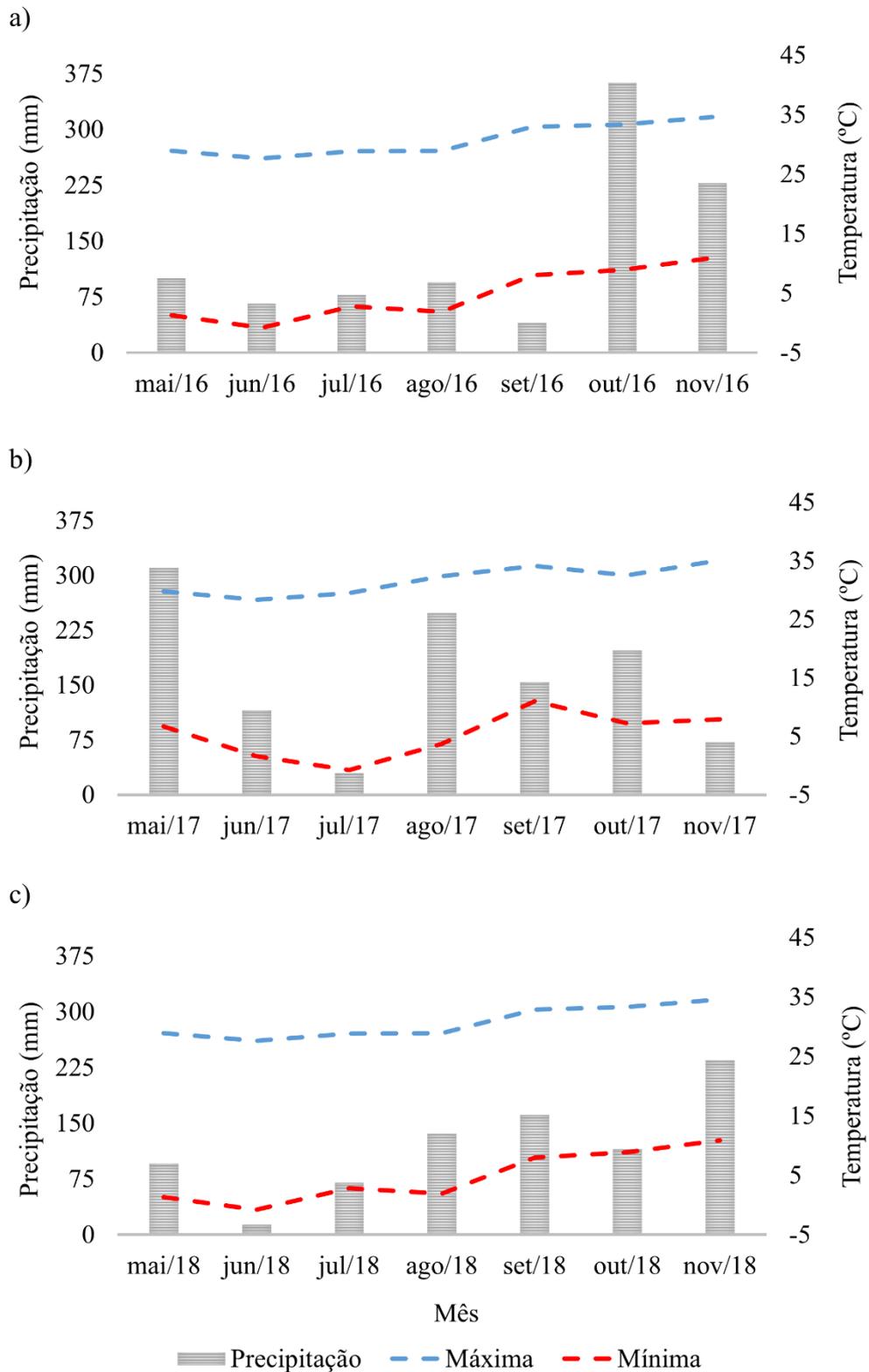


Tabela 1 - Datas de semeadura de trigo para cada época e ano produtivo totalizando nove ambientes de cultivo.

Época/Ano	2016	2017	2018
1º Época	12/05/2016	05/05/2017	23/05/2018
2º Época	07/06/2016	14/06/2017	06/06/2018
3º Época	04/07/2016	05/07/2017	11/07/2018

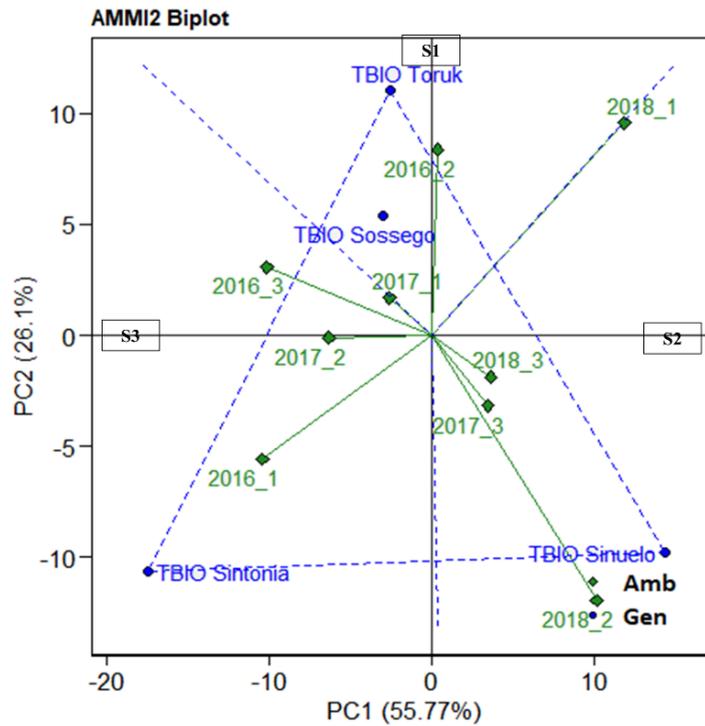
Tabela 2 - Performance relativa e ranqueamento dos genótipos de trigo e dos ambientes para rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹).

Genótipo	RPGV	HMRPGV	RPGV*RG	HMRPGV*RG	HMGV*RG	AMMI	WAASB
TBIO Sintonia	0.86	0.86	(4) 2516	(4) 2505	(4) 2435	(4) 2532	(4) 12.78
TBIO Sinuelo	1.14	1.14	(1) 3350	(1) 3338	(1) 3292	(1) 3327	(3) 10.67
TBIO Sossego	1.01	1.01	(2) 2948	(2) 2945	(2) 2888	(2) 2943	(1) 5.72
TBIO Toruk	0.98	0.98	(3) 2861	(3) 2857	(3) 2805	(3) 2854	(2) 5.97
----- Ambiente -----							
Ambiente	BLUP (IC)	RG	Pred				
2016_1	301.09	(2) 3281	3215				
2016_2	-20.72	(5) 2889	2893				
2016_3	679.38	(1) 3742	3593				
2017_1	62.33	(6) 2838	2851				
2017_2	27.24	(4) 2947	2941				
2017_3	-153.89	(7) 2726	2759				
2018_1	-454.01	(8) 2361	2459				
2018_2	193.59	(3) 3150	3107				
2018_3	-510.34	(9) 2292	2400				

⁽¹⁾ Performance relativa via RPGV, HMRPGV, e ranqueamento dos genótipos RPGV*RG, HMRPGV*RG e HMGV*RG não significativos a 5% de probabilidade. Análises AMMI, WAASB e BLUP significativas a 5% de probabilidade. IC= Intervalo de confiança de BLUP; Pred= Valores preditos do rendimento de grãos.

Figura 2 - Análise AMMI Biplot do caractere rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹) obtidos a partir da decomposição da matriz de BLUP para estudo da adaptabilidade (a) e análise WAASB x Y (b), considerando quatro genótipos de trigo em nove ambientes.

a)



b)

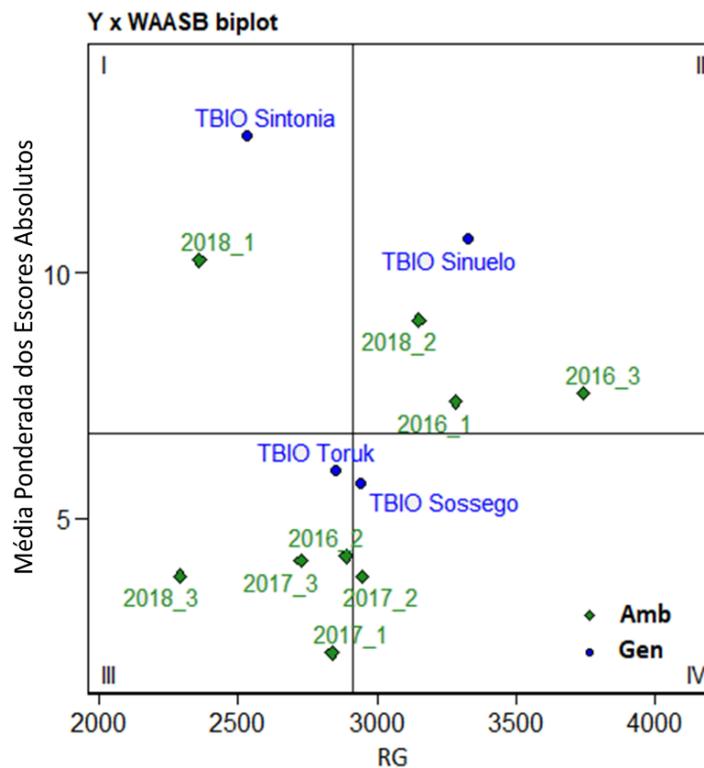
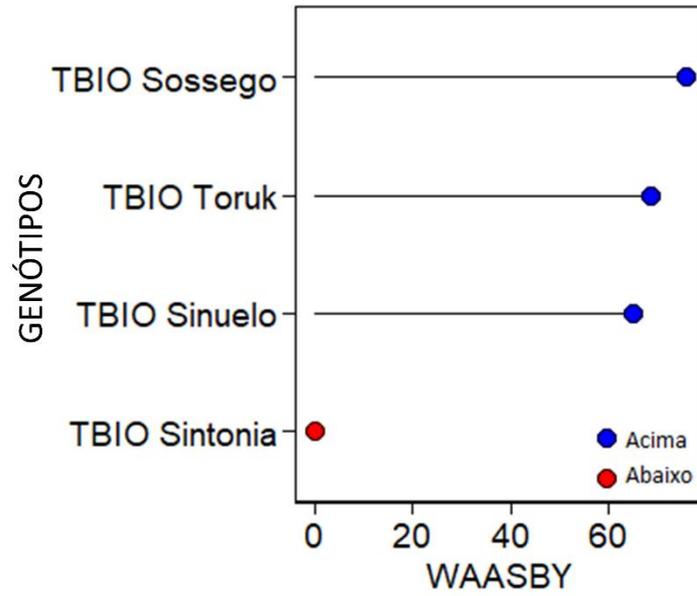


Figura 3 - Valores estimados de WAASBY para quatro genótipos de trigo considerando a percentagem de 50% estabilidade e 50% performance submetidos a nove ambientes de cultivo.



Material Suplementar 1 - Análise da variância individual para o rendimento de grãos (kg ha⁻¹) de quatro genótipos de trigo testados em nove ambientes.

		----- QM dos ambientes -----								
FV ¹	GL	2016_1	2016_2	2016_3	2017_1	2017_2	2017_3	2018_1	2018_2	2018_3
Bloco	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Genótipo	3	94637	782162	147434	235579	89292	959092*	2216468*	2067856*	782005
Residual	9	277778	765334	107525	123884	227229	131056	165155	246142	221512

Média		3280.75	2888.60	3741.76	2837.90	2947.06	2726.33	2360.60	3149.79	2291.75
CV(%) ¹		16.06	30.28	8.76	12.40	16.20	13.30	17.20	15.80	20.50
AS ¹		0.00	0.15	0.52	0.69	0.00	0.93	0.96	0.94	0.85
h ² (%) ¹		0.00	0.02	0.27	0.47	0.00	0.86	0.92	0.88	0.71
σ_g^2		0	4207.5	9977.31	27923.2	0	207009.1	512826	455428.8	140122.8

¹QM= Quadrados médios dos ambientes; FV= Fonte de variação; GL= Graus de liberdade; CV(%)= Coeficiente de variação; AS= Acurácia seletiva; h²(%)= Herdabilidade no sentido amplo; Fc= Valor de F calculado para genótipo; σ_g^2 = Variância genotípica; “*”= Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Material Suplementar 2 - Estimativa dos componentes da variância e de média para o rendimento de grãos (kg ha^{-1}) pelos métodos AMMI e REML/BLUP de quatro genótipos de trigo testados em nove ambientes.

----- AMMI -----							
FV ¹	GL	SQ	QM	F	Prob (%)	CV (%)	Média (kg ha^{-1})
Bloco/Amb	27	10506990	389148				
Genótipo	3	11547440	3849147	15.29	0.00*		
Ambiente	8	25780136	3222517	8.28	0.00*	17.22	2913.87
G × A	24	10576135	440672	1.75	0.03*		
Residual	81	20390515	251734.75				
----- REML/BLUP -----							
	LRT	χ^2	σ_g^2				
Bloco/Amb	2.054	0.15	34353.29				
Ambiente	11.756	0.00*	165275.64				
G × A	3.186	0.07	47234.45				

¹FV= Fonte de variação; G × A= Interação Genótipo × Ambiente; GL= Graus de liberdade; SQ= Soma dos quadrados; QM= Quadrados médios; Fc= Valor de F calculado para genótipo; CV= Coeficiente de variação; RG= Média do rendimento de grãos; LRT= Teste razão de Verossimilhança; χ^2 = Teste Qui-quadrado; σ_g^2 = Variância genotípica; “*” = Significativo a 5% de probabilidade de erro.

4 CAPÍTULO II: RELAÇÕES LINEARES ENTRE CARACTERES EM ENSAIOS DE TRIGO

RESUMO

O trigo é um dos principais cereais de inverno cultivados no Brasil. Apesar disso, ainda são incipientes as pesquisas com a cultura em relação ao melhoramento genético e a escolha de caracteres para seleção, especialmente para locais onde a cultura ainda está em ascensão. Por isso, o estudo das correlações lineares e a análise de causa e efeito são técnicas interessantes para o auxílio e aplicação frente a seleção de genótipos promissores. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar as relações lineares entre caracteres de trigo e identificar caracteres para seleção direta e indireta por meio da técnica de análise de causa e efeito em genótipos de trigo conduzidos em diferentes ambientes de cultivo. Os experimentos foram conduzidos em São Vicente do Sul, RS, Brasil, nos anos 2016, 2017, 2018 em delineamento blocos ao acaso, composto por quatro genótipos e três épocas de semeadura a cada ano agrícola (4x3). Os resultados demonstram grande variabilidade entre os caracteres sendo estes muito influenciados pelos ambientes. Correlações positivas foram mais recorrentes como comprimento e número de espiguetas na espiga principal, comprimento e número de espiguetas na espiga do perfilho, assim como para número de espiguetas na espiga principal e perfilho em relação ao número de grãos destas. Em geral, as variáveis mais adequadas visando seleção direta e indireta para o melhoramento de plantas de trigo foram número de grãos na espiga do perfilho e impureza, enquanto que considerando apenas a seleção indireta peso hectolitro e massa de mil grãos são os mais recomendados nestas condições ambientais testadas.

Palavras-Chave: *Triticum aestivum* L., correlação fenotípica, análise de causa e efeito, melhoramento, seleção, ambientes.

LINEAR RELATIONS BETWEEN CHARACTERS IN WHEAT TRIALS

ABSTRACT

Wheat is one of the main winter cereals grown in Brazil. Despite this, research on culture in relation to genetic improvement and the choice of characters for selection is still incipient, especially for places where culture is still on the rise. For this, the study of linear correlations and the analysis of cause and effect are interesting techniques for aid and application when selecting promising genotypes. Therefore, the aim of this study was to evaluate the linear relationships between wheat characters and to identify characters for direct and indirect selection using the cause and effect analysis technique in wheat genotypes conducted in different cultivation environments. The experiments were conducted in São Vicente do Sul, RS, Brazil, in the years 2016, 2017, 2018 in a randomized block design, composed of four genotypes and three sowing seasons in each agricultural year (4x3). The results show great variability between the characters, which are highly influenced by the environments. Positive correlations were more frequent, such as length and number of spikelets on the main spike, length and number of spikelets on the tiller spike, as well as the number of spikelets on the main spike and the tiller spike in relation to the number of grains. In general, the most appropriate variables aiming at direct and indirect selection for the improvement of wheat plants were number of grains of the tiller spike and impurity, whereas considering only the indirect selection hectoliter weight and thousand grain mass are the most recommended in these conditions tested.

Keywords: *Triticum aestivum* L., phenotypic correlation, cause and effect analysis, breeding, selection, environments.

4.1 INTRODUÇÃO

O trigo é um cereal de grande importância econômica mundial sendo produzido em 125 países, dentre eles o Brasil (FAOSTAT, 2021). A nível nacional, a produção atingiu 6234,6 mil toneladas produzidas do grão, sendo que a região sul do país concentra a maior parte da produção nacional do grão que é de 88% (CONAB, 2021). Apesar disso, a carência de materiais genéticos que sejam produtivos e adaptados à amplos locais é grande, reiterando-se a importância e o uso de programas e técnicas do melhoramento para que ocorram esses avanços de forma satisfatória (MEZZOMO et al. 2020).

Embora se destaque na produção nacional, a produção de trigo no estado do Rio Grande do Sul apresenta grandes variações em termos produtivos entre regiões de cultivo e até mesmo dentro de regiões homogêneas. Segundo dados do Ensaio de Cultivares em Rede realizado pela Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa no ano de 2020 (FPS, 2021), a diferença de produtividade na região homogênea de cultivo referente a região Sul pode oscilar entre 11 a 15% a menos em relação à média geral da região homogênea, o que representa aproximadamente 612 a 941 kg ha⁻¹.

As pesquisas com a cultura do trigo são essenciais para que ocorram avanços não apenas no âmbito genético, mas também produtivo, os quais são muito influenciados pelas condições ambientais (LIU et al., 2016). A região central e a metade sul do Estado do Rio Grande do Sul nos últimos anos não vem sendo utilizada de forma preferencial para o cultivo de trigo, embora estima-se que materiais classificados nestas regiões homogêneas possam atingir ganhos genéticos anuais de até 4.38%, reiterando-se o potencial de seleção nesses locais ainda pouco explorados (FOLLMANN et al., 2017). Com isso, verifica-se que há uma demanda de pesquisas e maiores informações que tornem a cultura mais atraente para esses locais de menor altitude.

A busca por genótipos produtivos é uma constante para o avanço da produção agrícola. Em culturas como o trigo, a necessidade é ainda maior, visto as oscilações de produtividade que ocorrem em razão das variações climáticas e da sensibilidade da cultura a esses processos (MOHSEN; SHAFI, 2014). Nesse âmbito, a utilização do estudo das relações lineares entre os caracteres é de fundamental importância para o desenvolvimento de materiais genéticos resistentes, produtivos e que possibilitem maior viabilidade do sistema produtivo. Dentre estas, a correlação de Pearson (1920) e a análise de causa e efeito (WRIGHT, 1921) surgiram como alternativas para maior proveito na seleção de materiais, permitindo a identificação e associação das relações de causa e efeito entre os caracteres mensurados (CARVALHO et al. 2017).

Apesar de interessante na seleção de materiais, a correlação fenotípica apenas permite identificar a magnitude e o sentido da relação entre dois caracteres, não sendo possível determinar de forma efetiva a causa atuante, se genética ou ambiental (CRUZ et al., 2012). Para isso, a análise de causa e efeito surge permitindo a associação de fatores e a separação de efeitos indiretos em detrimento de um efeito direto, possibilitando assim a análise de caracteres de forma independente (WRIGHT, 1921; CARVALHO et al. 2017).

Estudos como o de Carvalho et al. (2015) mostraram correlações fenotípicas significativas entre caracteres morfológicos e agrônômicos, especialmente para produtividade de grãos e número de grãos por espiga. Já Pias et al. (2016), encontrou resultados similares a estes caracteres avaliando os componentes de rendimento da cultura, sobressaindo-se as correlações de rendimento de grãos com peso de mil sementes e com número de espigas.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi identificar as relações lineares entre caracteres de trigo avaliados em diferentes ensaios.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar), Campus São Vicente do Sul, RS, Brasil, (29°42'21" S; 54° 41'39" W; e altitude de 134 m), nas safras agrícolas dos anos 2016/2017/2018. A classificação climática segundo Köppen é do tipo Cfa-subtropical, com verões quentes e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (ALVARES et al., 2013). As precipitações médias no decorrer de cada ciclo de cultivo foram de 970, 1130 e 830 mm aproximadamente, enquanto que as médias das temperaturas mínimas foram de 14.8; 17.2; 15.8°C e das máximas foram 16.0; 18.3 e 16.9°C a cada ciclo de cultivo anual, respectivamente (INMET, 2021).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições, composto por quatro genótipos de *T. aestivum* e três épocas de semeadura a cada ano agrícola, representando um bifatorial (4x3). Os genótipos utilizados foram: TBIO Sintonia, de ciclo de desenvolvimento precoce, TBIO Sinuelo, de ciclo tardio, TBIO Sossego e TBIO Toruk, ambos de ciclo médio. Já as épocas de semeadura (SS) testadas ocorreram sempre entre os meses de maio (SS1: 12/05/2016; SS4: 05/05/2017; SS7: 23/05/2018), junho (SS2: 07/06/2016; SS5: 14/06/2017; SS8: 06/06/2018) e julho (SS3: 04/07/2016; SS6: 05/07/2017; SS9: 11/07/2018) de cada ano. Este plano experimental permitiu a avaliação e análise em nove diferentes cenários

com diferentes condições ambientais durante o ciclo da cultura do trigo, conferindo uma adequada precisão experimental e confiabilidade nos resultados.

Os genótipos utilizados possuem similaridade genética, sendo TBIO Sintonia oriundo dos cruzamentos de Marfim/Quartzo/Marfim; TBIO Sinuelo oriundo de Quartzo/3/Fundacep 30/Ônix/Pampeano/Marfim; TBIO Sossego oriundo de BIO 08400 'S'/Quartzo//Quartzo; e TBIO Toruk oriundo de Mirante/IBIO 0901//Quartzo (BIOTRIGO, 2020).

Para a implantação da cultura foi considerada a densidade de 350-450 sementes viáveis por m², sendo que cada parcela foi composta por 16 linhas, espaçadas 0.16 m entre linhas. A adubação para a cultura foi realizada visando a uma expectativa de produtividade de cinco toneladas por hectare (t. ha⁻¹), seguindo as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (ROLAS, 2004). Nesse quesito, convém salientar especialmente a adubação nitrogenada realizada em dois momentos, sendo eles no início do perfilhamento e no alongamento, visando a melhor sintetização das proteínas no grão, elevação da força de glúten e definição da produtividade.

O manejo de pragas, doenças e o controle de plantas daninhas seguiram recomendações para a cultura do *T. aestivum*, conforme o Informativo Técnico para Trigo e Triticale (EMBRAPA, 2016). Para isso, foi realizada a rotação de produtos e princípios ativos para auxiliarem na maior eficiência e controle das pragas e doenças.

Os caracteres estudados foram: altura de planta (AP, cm), comprimento da espiga principal (CEP, cm), comprimento da espiga do perfilho (CEA, cm), número de espiguetas na espiga principal (NEP, un.), número de espiguetas na espiga do perfilho (NEA, un.), número de grãos na espiga principal (NGP, un.), número de grãos na espiga do perfilho (NGA, un.), número de perfilhos na fase vegetativa (PFV, un.), número de perfilhos produtivos (PFP, un.), impurezas (IMP, g. cm⁻³), rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹), peso hectolitro (PH, g. cm⁻³), população de plantas (PP, sementes m⁻²) e massa de mil grãos (MMG, g.). Destes caracteres foram coletadas amostras em cinco plantas aleatórias por parcela e foram calculadas as médias destas parcelas avaliadas no momento da colheita, com exceção de PP que foi avaliada em dois metros lineares quando 50% das plantas apresentavam-se em emergência.

Em virtude das particularidades dos elementos meteorológicos contrastantes e em razão das diferentes datas de semeadura a cada ano, as correlações foram realizadas para cada época de semeadura a fim de melhor serem explicadas as condições e situações de cada uma das nove condições ambientais (Figura 1). As colheitas foram realizadas entre os períodos de 15/10 e 21/11 de cada ano agrícola, de acordo com as épocas de semeadura.

Realizou-se análise de independência dos erros pelo teste de Shapiro Wilk e homogeneidade das variâncias via Teste de Levene e, onde não atendidos os pressupostos, os caracteres foram desconsiderados dentro do ambiente de ocorrência. Após, foram estimadas as correlações fenotípicas entre todos os caracteres pela equação: $r = \frac{Cov(X,Y)}{S_x S_y} =$

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \text{ onde } x_i \text{ e } y_i \text{ são os } n \text{ valores observados e } \bar{x} \text{ e } \bar{y} \text{ são as médias}$$

amostrais de X e Y . Estes foram testados pelo teste t quanto a sua significância pela fórmula $t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}$ onde t está associado com $n-2$ graus de liberdade do erro a 5% de probabilidade, n sendo o número total de observações e r sendo o coeficiente de correlação.

As análises de causa e efeito foram realizadas a partir das estimativas dos efeitos diretos e indiretos pelo modelo estatístico $y = p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n + p_e u$ onde y é o coeficiente da variável dependente (RG); p_n refere-se ao coeficiente do efeito direto; x_n é a variável independente explicativa; p_e é o efeito residual e u é a variável de padronização. Previamente à realização daquela análise, para cada ambiente, foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade na matriz de variáveis explicativas, a qual foi testada e ajustada pelo número de condição (CN) estimado pela equação $CN = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}$ sendo λ_{\max} o maior autovalor da matriz de correlação e o λ_{\min} o menor autovalor da matriz de correlação. Além disso o diagnóstico foi

também realizado pelo fator de inflação da variância (VIF) pela equação $VIF = \frac{1}{1-R_j^2}$ onde R_j^2

é o coeficiente de determinação. Para ambos os testes, considerou-se a realização de ajuste a partir da análise de causa e efeito em crista quando confirmado CN maior que 100 e quando VIF maior que 10, o que em ambos indica presença de multicolinearidade forte ou severa (MONTGOMERY; PECK, 1982). A análise de causa e efeito em crista foi considerada em razão de não implicar na exclusão de nenhuma variável, o que é considerado um ponto positivo em razão dos diferentes ambientes apresentarem caracteres distintos com a presença de multicolinearidade.

As análises estatísticas foram realizadas a partir do Software R Core Team (2019) com auxílio dos pacotes Car (FOX; WEIBERG, 2019), Exp.Des (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021) e Metan (OLIVOTO; LÚCIO, 2020), considerando-se os níveis de probabilidade de erro de 5%.

4.3 RESULTADOS

Para o ano de 2016 houve a ocorrência de períodos de estiagem nos momentos iniciais da semeadura e emergência que influenciaram no menor desenvolvimento e estabelecimento da cultura na região de estudo, mesmo com o efeito benéfico que se sucedeu após como a ocorrência de geadas, entre os meses de junho e julho, e que são positivas até o perfilhamento em trigo (Figura 1a). Já nos meses de outubro e novembro houveram grandes volumes de precipitação pluviométrica (Figura 1b), os quais interferiram na qualidade do produto final e na menor produtividade, em razão não apenas das oscilações e dos estresses hídricos, mas também pela maior pressão de doenças desencadeada em função das maiores precipitações pluviométricas que ocasionam maior período de molhamento foliar resultando no aumento de doenças principalmente a giberela e brusone em trigo.

No ano de 2017 houve a condição de um inverno com grandes amplitudes entre as temperaturas mínimas e máximas em pequenos intervalos de tempo e precipitações acima da média nos momentos iniciais de semeadura, especialmente nos meses de maio e junho. Contudo chuvas intensas também ocorreram nos meses de agosto e setembro e, embora em menor quantidade nas fases próximas a colheita, também registradas nos meses de outubro e novembro (Figura 1c e 1d). Apesar de condições meteorológicas adversas, em relação ao ano de 2016, os impactos sobre a cultura foram similares e perduraram não apenas na fase do desenvolvimento vegetativo da cultura, mas também no menor desenvolvimento reprodutivo e rendimento final da cultura.

Considerando o ano de 2018 (Figura 1e e 1f) ocorreram períodos de precipitação abaixo da média nas três condições de semeadura testadas, intensa presença de geadas nos meses de maio, junho, julho e agosto e, por fim, chuvas regulares entre os meses de setembro a novembro. A ocorrência de chuvas regulares nos períodos próximos a colheita contribuíram para a maior qualidade e produtividade de grãos da cultura do trigo devido ao maior peso hectolitro resultante.

Com isso, observou-se grande variação entre os ambientes e anos agrícolas avaliados, as quais acarretaram em relações distintas entre caracteres em razão dessa maior sensibilidade da cultura do trigo frente às variações ambientais.

Para os resultados da correlação de Pearson na condição ambiental SS1, RG não apresentou correlação significativa com nenhum caractere, porém foram encontradas associações para os caracteres AP e PH (0.74), IMP e PH (-0.74), NEP e NGP (0.84) e para os

caracteres NEA e NGA (0.94) neste ambiente. Já AP e MMG apresentaram correlação de magnitude moderada e sentido negativo (-0.68) (Tabela 1).

Para a condição ambiental SS2, referente a segunda época de semeadura do ano de 2016, correlações altas, positivas e significativas foram encontradas entre os caracteres CEP e NEP (0.94), CEP e NGP (0.73), CEA e NEA (0.99), CEA e NGA (0.83), NEP e NGP (0.72), NEA e NGA (0.87). Estas já eram esperadas devido a relação direta e ou dependência de um caractere em relação a outro. Entretanto, RG não apresentou correlação significativa nessa condição, assim como também observado na primeira condição ambiental (Tabela 1).

Já para a condição ambiental SS3, destacaram-se CEP e NEP (0.71), CEP e NGP (0.74), IMP e AP (-0.77), NEP e NGP (0.77), NGA e PP (-0.79). Apesar de uma correlação linear moderada, RG manifestou correlação positiva com PFV (0,54) e, assim como na primeira condição, em SS2 e SS3 também foram semelhantes as correlações em magnitude e sinal entre AP e MMG (-0.65 e -0.50, respectivamente) (Tabela 1).

Os resultados da correlação de Pearson em SS4, referente a primeira época de semeadura em 2017, apresentaram correlações significativas entre CEP e PFP (0.54), IMP e NGA (-0.56), NGA e MMG (-0.59) e entre IMP e MMG (0.74) (Tabela 2).

Para a condição ambiental SS5, a maior parte das relações entre os caracteres não foram significativas, ao contrário para AP e MMG (-0.57), CEA e NGA (0.69), NGA e PP (-0.56), e NEP e NGP (0.84) (Tabela 2).

Para a condição ambiental SS6, apesar de RG não ter apresentado correlações significativas, duas correlações se sobressaíram como sendo interessantes, sendo eles CEP e NEP (0.79), CEA e NEA (0.91). Correlações menores também foram evidenciadas em relação a NGP, como por exemplo os caracteres CEP (0.58), NEP (0.69) e PFV (-0.60). PFV também apresentou correlação negativa com NEP (-0.60) (Tabela 2).

Na condição ambiental SS7, RG apresentou correlação positiva e de magnitude moderada a alta com PH (0.69), indicando que quanto maior for RG maior será PH. Entretanto, correlação negativa também foi encontrada para os caracteres IMP e RG (-0.66), onde o aumento de um, causa a diminuição do outro. NGA resultou em correlações positivas com NEA (0.95) e CEA (0.97) nesta condição ambiental, relação também visualizada nas épocas SS2 entre NGA e NEA e em SS2 e SS5 entre NGA e CEA (Tabela 3).

Em SS7, genótipos com menor desenvolvimento em razão do início do espigamento e a suscetibilidade a geadas nesta fase do ciclo foram algumas das causas que ocasionaram no menor número de correlações significativas em relação a SS8 e SS9 (Tabela 3). Apesar disso, SS7 foi o que mais explicou os efeitos diretos sobre a produtividade. Por outro lado, SS8 e SS9

foram os mais promissores a partir da maior quantidade de correlações significativas, sendo muito superior não apenas a SS7, mas também a todos demais épocas testadas.

Em SS8, referente a segunda época de semeadura do ano de 2018, os resultados demonstram uma grande quantidade de correlações significativas. Dessas, a grande maioria é de magnitude moderada, a exemplo das correlações negativas entre RG e CEA (-0.51) e RG e NEA (-0.55), as quais apenas foram significativas nesta condição. Correlações altas e significativas ocorreram entre os caracteres CEA e NEA (0.92), CEP e NEP (0.78) e moderada entre CEA e NGA (0.62). CEA, NEA e NGA foram significativos com PFP apresentando relação positiva e de magnitude média (0.66; 0.62; 0.67) (Tabela 3).

Para SS9, as melhores correlações evidenciadas foram CEA e NEA (0.96), CEA e NGA (0.85), além de NEA e NGA (0.77). Porém, correlações de magnitude menor como AP e MMG (-0.51), CEA e PFP (0.60), NEA e PFP (0.62) também foram evidenciadas assim como ocorrido em outras condições ambientais apresentadas (Tabela 3).

Os caracteres utilizados como variáveis explicativas na análise de causa e efeito ocasionaram em número de condição (CN) e fator de inflação de variância (VIF) altos, maiores que 100 e 10 respectivamente, em todos os ambientes, exceto na condição ambiental SS4 onde não foi necessária nenhuma correção. Para os demais ambientes, os valores da correção do coeficiente “K” foram 0.05 (SS1), 0.06 (SS2), 0.03 (SS3), 0.04 (SS5), 0.01 (SS6), 0.06 (SS7), 0.03 (SS8) e 0.05 (SS9), sendo considerados baixos e indicando fácil ajuste para melhor explicação das relações de causa e efeito.

Da mesma forma, a decomposição das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos apresentou coeficientes de determinação em geral próximas ou superiores a 0.70 comprovando que as variáveis explicam grande parte da variação observada, com exceção das condições SS2 (0.47), e SS8 (0.58) as quais apresentam menor poder de explicação e maior efeito residual em suas análises.

Para o ambiente SS1, a explicação de RG via efeito direto pode ser feita pelos caracteres CEP (0.38), NGA (0.10) e PFV (-0.28). A análise de causa e efeito demonstrou que, para os caracteres MMG (0.79) e PH (0.71), os efeitos indiretos são os responsáveis pela baixa correlação entre os caracteres e o RG devido a magnitude moderada das correlações destas variáveis e o alto efeito direto observado. Por isso, estes podem ser explicados indiretamente pelos caracteres AP (0.30) e PH (-0.30) para MMG, enquanto que para PH o efeito indireto do caractere MMG (-0.34) é o que explica a baixa correlação observada para a variável (Figura 2a). A seleção indireta do caractere AP pode ser realizada a partir do caractere MMG (-0.51)

para explicação de RG, implicando que AP será maior quanto menor for MMG, indicando que maiores alturas de planta resultam em menor RG (Figura 2a).

A análise de causa e efeito em (SS2) apresentou correlações baixas e a explicação e seleção de caracteres para RG é aconselhada via efeitos indiretos para todas os caracteres, o que se deve em razão das relações apresentarem diferentes sentidos e magnitudes que não permitem melhor explicação sobre o efeito direto. CEP e NEP são os caracteres que melhor podem ser explicados via NGP, com valores de 0.53 e 0.52, respectivamente (Figura 2b).

Para o ambiente SS3, o alto coeficiente de determinação (R^2) demonstra a confiabilidade que esta condição exhibe nesta terceira época de semeadura (0.81). Os caracteres mais indicados para a seleção e explicação direta da produtividade são AP (-0.32), NEA (0.13), PFV (0.32), MMG (-0.09) e PH (0.10), embora os efeitos sejam baixos. O caractere CEP possui efeito indireto via NGP (-0.49), NGP via CEP (0.51), NGA via PP (-0.61) e PFP e PP que são explicados indiretamente por NGA (0.64 e -0.76), pois possuem baixas correlações e altos efeitos diretos (Figura 2c).

A análise de causa e efeito em SS4 apresentou alto poder de resposta pelo R^2 (0.83) e um pequeno número de correlações significativas. Para essa condição os caracteres CEA (-0.33), NEA (-0.20), NGP (-0.17), PFP (-0.54) e PP (-0.33) possuem efeito direto sobre RG, sendo menores quanto maior for RG. Para o caractere MMG, onde o efeito direto apresentou-se alto e negativo, a correlação de Pearson foi baixa, sendo, portanto, os efeitos indiretos os responsáveis pela falta de correlação, especialmente por IMP com valor 0.74 (Figura 3a).

O R^2 encontrado para a análise de causa e efeito no ambiente SS5 é adequado (0.73). Nesse ambiente CEP (0.21), IMP (0.26), NEP (-0.40), NGS (-0.10), e PP (0.30) possuem efeito direto sobre RG. A explicação de RG via indireta pelos demais caracteres oscilaram entre -0.25 a 0.53 (Figura 3b).

Os resultados da análise de causa e efeito no ambiente SS6 apontaram que, apesar de CEP apresentar valor de -0.85, a baixa correlação é proveniente dos efeitos indiretos como a NGP (0.59). Por outro lado, o caractere PH (0.43) explica diretamente RG visto sua similaridade em magnitude e sinal em relação a correlação (0,41) e poderia, portanto, ser empregado na seleção direta visando maiores ganhos genéticos e de rendimento (Figura 3c).

No ambiente SS7, os resultados da análise de causa e efeito demonstraram que o PH e IMP possuem efeitos diretos sobre RG, visto a relação próxima existente destes caracteres com a correlação (0.69* e -0.66) e com o efeito direto similar em relação ao sentido e magnitude expressados (0.42 e -0.48). Nestes casos, quanto maior PH e menor IMP, maior será RG. Os

demais caracteres não possuem relação de causa e efeito com RG, visto que estes foram muito baixos (Figura 4a).

Para o ambiente SS8 o caractere PH (0.43) apresenta explicação direta com RG (0.33). Além disso, AP e NEA também podem ser selecionadas desta forma pois apresentam a mesma similaridade entre as correlações e o efeito direto, aos quais foram de 0.34 e -0.55. CEA possui efeito indireto via NEA (0.49) (Figura 4b).

Os resultados da análise de causa e efeito no ambiente SS9 ($R^2 = 0.64$) indicaram que os caracteres como NEP (-0.38), NGA (0.53) e MMG (0.29) apresentaram valores próximos em magnitude e sinal junto a correlação demonstrando serem os mais promissores para explicação de RG nestas condições ambientais. O caractere PH, apesar de apresentar alto efeito direto (0.86), possui baixa correlação, o que indica a explicação de RG pelos efeitos indiretos via AP (0.44) (Figura 4c).

Não foram evidenciados efeitos significativos para as variáveis AP, CEP, NEP, NGP, NGA, MMG, PFP e PP em relação a produtividade em nenhuma das condições ambientais.

4.4 DISCUSSÃO

A obtenção de genótipos produtivos de trigo em programas de melhoramento passa pelo processo de seleção em diferentes ambientes, sejam estes anos, locais (BORNHOFEN et al. 2017) ou até mesmo diferentes épocas de cultivo. Esta associação pode ser realizada ao presente estudo onde para cada época de semeadura foram observadas diferentes particularidades, aos quais são decorrentes das variações de temperatura, precipitação ou até mesmo da ocorrência de geadas tardias durante o ciclo produtivo, as quais foram muito variáveis de acordo com cada ano de cultivo (Figura 1).

Temperaturas altas, acima dos 25°C, podem influenciar diretamente na redução do rendimento final da cultura do trigo (PIMENTEL, 2015) e corroboram com o que foi observado neste estudo. Além disso, períodos de grande precipitação associados a essas altas temperaturas, como observado nos anos de 2017 e 2018 podem ter resultado em maior pressão de doenças, as quais também influenciaram sobre o rendimento e qualidade do produto final. Para o elemento da precipitação, os volumes pluviométricos oscilam entre 400 a 600 mm a depender do ciclo, estágio e dos genótipos utilizados para os cultivos (CORDEIRO et al., 2015).

Segundo Souza et al. (2013), a menor área foliar da cultura pode acarretar em grandes impactos que podem influenciar no menor peso de grãos acumulados e menor número de grãos por espiga no produto final e, por consequência, reduzir a produção de grãos em até 20%. Essas

influências, por conseguinte, refletem também diretamente na associação e relação que essas variáveis expressam.

A precipitação no decorrer de um ciclo produtivo apresenta crucial importância não apenas na definição do rendimento da cultura, mas também na qualidade final do grão quando mensurada a partir do PH (SOARES et al., 2021). Nesse âmbito, a ocorrência de precipitações frequentes em momentos próximos à colheita é um problema, visto que causa a diminuição significativa da qualidade do produto final.

O ano de 2017, correspondente as épocas SS4, SS5 e SS6 apresentaram menos caracteres significativos, o que pode ter ocorrido em decorrência da precipitação acima da média observada nos meses de maio e junho, que correspondem as épocas de semeadura SS4 e SS5, assim como a maior precipitação observada no mês de agosto e na menor precipitação em épocas próximas a colheita que, embora expressivas, podem também ter influenciado no desenvolvimento produtivo da cultura e ter relação com o produto final (Figura 1). As altas temperaturas e os estresses devido ao calor e menor precipitação podem ter acelerado o ciclo produtivo da cultura, bem como podem ter influenciado nos resultados dos caracteres de RG, NEP, NEA, NGP e NGA no ano agrícola de 2017, correspondente as épocas SS4 a SS6 (Figura 3a, 3b e 3c). Caracteres relacionados ao número de espigas por planta são fortemente influenciados não apenas pelos genótipos, mas também pelas condições ambientais (KAVALCO et al., 2014). Isso está de acordo com o presente estudo especialmente nos ambientes onde ocorreram geadas tardias no período reprodutivo da cultura e que podem ter influenciado nas relações dispersas entre alguns caracteres dentro destas condições.

Segundo Vencovsky & Barriga (1992), quando a correlação é baixa e efeito direto for alto e positivo, os efeitos indiretos são os responsáveis pela falta de correlação. Tal fato está de acordo com os resultados encontrados neste estudo conforme pode ser observado em SS4 para CEP, NGA, PFP e PP que são explicados indiretamente por diferentes caracteres em razão dessas relações de causa e efeito (Tabela 2).

Segundo Cargnelutti et al. (2010), a não significância entre caracteres pode ser devido ao número de amostras coletadas não ser suficiente, visto que, em um pequeno número de amostras como a considerada neste trabalho, para que a correlação seja significativa é necessário que se tenha alta magnitude na correlação, ao passo que em amostras grandes o fato é reverso. Já as análises de causa e efeito foram, em geral, baixas, fato este similar ao encontrado nos estudos realizados por Mohsen & Shafi (2014) e Ojha et al. (2018).

Yao et al. (2018) menciona que diminuir a altura de plantas na seleção é uma característica desejável nos programas atuais de melhoramento. Em nosso estudo, correlações

negativas entre AP e MMG foram encontradas nas condições ambientais SS1 (Tabela 1), SS2 (Tabela 1), SS3 (Tabela 1), SS5 (Tabela 2) e SS9 (Tabela 3), resultados estes que corroboram com Carvalho et al. (2017) e Khamssi (2012) onde plantas menores podem apresentar maior potencial produtivo. Contudo, estes resultados são contrários aos encontrados por Pias et al. (2016) quando avaliado 80 dias após a emergência e Sourour et al. (2018) quando avaliado próximo a colheita, onde foram evidenciadas correlações significativas e positivas de 0.73 e 0.32 nos diferentes locais de cultivo, indicando que conforme ocorre o aumento de AP ocorre o aumento de MMG, respectivamente.

Apesar de haver estudos como o de Carvalho et al. (2017), Kavalco et al. (2014) e Hartwig et al. (2007), ainda são incipientes as pesquisas que consideram as diferenças entre os caracteres CEP, CEA, NGP, NGA, NEP e NEA. Isso ocorre em razão de se considerar comumente apenas o total dessas variáveis e não a separação entre o colmo principal com a folha bandeira e os demais perfilhos. Entretanto, é válido ressaltar que a necessidade de se obter considerações sobre sua utilização é pertinente, especialmente em estudos voltados ao melhoramento genético da cultura.

Com exceção da oitava condição ambiental (Figura 4b) que apresentou correlação entre CEA e RG, em todas as demais condições não houve correlação de CEP e CEA com RG, o que corrobora com os resultados encontrados por Ojha et al. (2018) para o caractere comprimento de espiga onde a mesma também não apontou significância. A ocorrência da significância nesse ambiente provavelmente pode ter sido influenciada por efeitos indiretos, como NEA, por exemplo.

Ojha et al. (2018) e Hristov (2011) encontraram correlações positivas em seus estudos entre o número de espiguetas por espiga e o número de grãos por espiga, fato que coincide com os resultados obtidos neste trabalho, onde nos ambientes SS1 (Figura 2a), SS2 (Figura 2b) e SS8 (Figura 4c) foram verificadas relações positivas entre NEP com NGP e NEA com NGA, respectivamente. Essa é uma condição que no presente estudo oscilou entre 0.64 a 0.95 para a primeira relação e 0.65 a 0.99 para a segunda relação evidenciada.

Os caracteres NGP e NGA não apontaram relação significativa com RG em nenhuma das condições ambientais, assim como observado por Ojha et al. (2018) avaliando o número de espiguetas por espiga em relação ao rendimento. Carvalho et al. (2015) avaliando os componentes de produção em trigo de duplo propósito e manejo sem corte também não encontrou correlações fenotípicas significativas entre RG e MMG avaliando cinco genótipos de trigo, fato que também foi constatado neste estudo nas diferentes condições ambientais testadas.

Assim como Sourour et al. (2018) verificou relações entre o comprimento da espiga e número de espiguetas por espiga (0.55), no presente estudo também foram encontrados resultados similares considerando as variáveis CEP e CEA relacionadas a NEP e NEA, os quais foram significativos nos ambientes SS1 (Tabela 1), SS2 (Tabela 1), SS3 (Tabela 1), SS6 (Tabela 2), SS7 (Tabela 3), SS8 (Tabela 3) e SS9 (Tabela 3) de acordo com a espiga principal ou com a espiga do perfilho.

Número de grãos por espiga e peso de mil grãos são alguns dos principais caracteres que determinam as altas produtividades (ZHANG et al., 2020). Tal fato foi também evidenciado por Hristov (2011) e está também evidenciado no presente estudo onde NGP, NGA e MMG são alguns dos principais caracteres que expressam efeito direto sobre a produtividade ou indireto de outros caracteres por meio destes.

O caractere NGP é interessante para a seleção de genótipos superiores, mas pode ser indiretamente influenciada pelo número de espiguetas na espiga principal e massa de grãos na espiga principal. A avaliação de massa de grãos na espiga principal foi também satisfatória no estudo realizado por Martin et al. (2013), porém não foi considerada neste estudo. Já em relação ao caractere NGP, assim como retratado por Carvalho et al. (2017), a afirmação de NGP ser um dos principais para seleção indireta pôde ser observada para as condições ambientais 2 e 6 para o caractere CEP e 2,3 e 6 para o caractere PFV no presente estudo.

Com isso, pode-se observar caracteres que apresentaram baixas, moderadas e altas correlações, as quais são, além das condições ambientais, influenciadas também pela genética de cada material utilizado. Estudos realizados por Nardino et al. (2016) e Olivoto et al. (2017) com a cultura do milho identificaram resultados similares para essas diferenças, especialmente no que diz respeito a contribuição do ambiente com o caractere RG.

De maneira geral, os caracteres que mais apresentam efeitos diretos sobre a produtividade são NGA e IMP que explicam essa relação em aproximadamente 56% dos ambientes avaliados. Já NEA, PFV, NEP, MMG e PH explicam a verdadeira associação em 44% dos ambientes. Por outro lado, os efeitos indiretos mais recorrentes entre os ambientes ocorreram via PH, MMG, IMP e NGA, permitindo que o uso destes caracteres para seleção indireta no melhoramento seja proveitoso para essas condições ambientais.

De maneira geral, caracteres secundários como PP e PFP podem ser ignorados no processo de seleção para a produção de grãos nestas condições ambientais em razão do baixo poder de explicação e devido as particularidades dessas condições ambientais.

4.5 CONCLUSÃO

As relações lineares entre os caracteres de trigo possuem grande sensibilidade às oscilações do ambiente.

A seleção de caracteres via análise de causa e efeito apresentou diferenças entre os ambientes, sendo as variáveis mais indicadas para a seleção direta e indireta número de grãos na espiga do perfilho e impurezas, ao passo que considerando apenas a seleção indireta peso hectolitro e massa de mil grãos são as mais recomendadas.

4.6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES GONÇALVES, J.L. DE; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BIOTRIGO. Informações Técnicas para Trigo e Triticale - Safra 2020. **13º Reunião da Comissão Brasileira de Trigo e Triticale**. 1º Ed. Biotrigo Genética. 255p. 2020.

BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; STORCK, L.; WOYANN, L.G.; DUARTE, T.; STOCO, M.G.; MARCHIORO, S.V. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Bragantia**, v.76, p.1–10, 2017. DOI: 10.1590/1678-4499.557.

CARVALHO, I.R.; SOUZA, V.Q. DE; 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. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000800007.

CARVALHO, I.R.; NARDINO, M. FOLLMANN, D.N.; DEMARI, G.H. OLIVOTO, T.; PELEGRIN, A.J.; SZARESKI, V.J.; FERRARI, M.; ROSA, T.C.; KOCH, F.; AISENBERG, G.R.; PEDÓ, T.; AUMONDE, T.Z.; SOUZA, V.Q. Path analysis of grain yield associated characters in Brazilians wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v.11, p.1406-1410, 2017. DOI: 10.21475/ajcs.17.11.11.pne484.

CARGNELUTTI FILHO, A. TOEBE, M.; BURIN, C.; SILVEIRA, T.R.; CASAROTTO, G. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1363-1371, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010001200005.

CONAB (2021) Análise mensal, trigo. Brasília: Conab. https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuaria-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo/item/download/35984_f8e461806259336fe86fe7c0045eb969. Acessado 27 fev 2021.

CORDEIRO, M.B.; DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L.; SEABRA JUNIOR, S.; SANTI, A.; FENNER, W. Aptidão agroclimática do trigo para as regiões de Rondonópolis, São José do Rio Claro, São Vicente e Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. **Revista Agroambiente Online**, v.9, p.96-101, 2015. DOI: 10.5327/Z1982-8470201500012177.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2º ed. Viçosa: Editora. UFV, 585p, 2012.

EMBRAPA. Informações Técnicas para Trigo e Triticale. **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**, 240p, 2016.

FAOSTAT. **FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acessado 05 fev 2021.

FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). **R package version 1.2.1**. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>>. Acessado em 25 jul 2021.

FOLLMANN, D.N.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A.D.; SOUZA, V.Q. DE; CARAFFA, M.; WARTHA, C.A. Genetic progress in homogeneous regions of wheat cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.16, p.1-9, 2017. DOI: 10.4238/gmr16019517.

FOX and WEISBERG (2019). An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>.

FPS. Ensaio de Cultivares em Rede 2021. Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa. Disponível em: https://fundacaoprosementes.com.br/wp-content/themes/alpina-theme/assets/arq/Revista_ECR_Trigo_2021.pdf. Acessado 01 fev 2021.

HARTWIG, I; BUSATO, C.C. Estimativa de coeficientes de correlação e trilha em gerações segregantes de trigo hexaplóide. **Bragantia**, v.66, p.203-218, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000200004.

HRISTOV, N.; MLADENOV, N.; KONDIC-SPIKA, A.; JEROMELA, A.M.; JOCKOVIC, B.; JACIMOVIC, G. Effect of environmental and genetic factors on the correlation and stability of grain yield components in wheat. **Genetika**, v.43, p.141-152, 2011. DOI: 10.2298/GENSR1101141H.

INMET. Dados Históricos. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acessado 02 mar 2021.

KHAMSSI, N.N.; NAJAPHY, A. Agro-morphological and phenological attributes under irrigated and rain-fed conditions in bread wheat genotypes. **African Journal of Agricultural Research**, v.7, p.51-57, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1097>.

KAVALCO, S.A.F.; FIGUEIREDO, R.; GROLLI, E.L.; ZIMMER, C.M.; BARETTA, D.; TESSMANN E.W.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; OLIVEIRA, A.C. Pathway analyses in wheat genotypes under waterlogging stress. **Semina – Ciências Agrárias**. v.5, p.1683-1696, 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n4p1683.

LIU, B.; ASSENG, S.; MÜLLER, C.; EWERT, F.; ELLIOTT, J.; LOBELL, D.B.; MARTRE, P.; RUANE, A.C.; WALLACH, D.; JONES, J.W.; et al. Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods. **Nature Climate Change**, v.6, p.1130–1136, 2016. DOI: 10.1038/NCLIMATE3115.

MARTIN, T.N.; STORSH, L.; BENIN, G.; SIMIONATTO, C.C.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P. Importância da relação entre caracteres em trigo duplo propósito no melhoramento da cultura. **Bioscience Journal**, v.29, p.1624-1631, 2013.

MEZZOMO, H.C.; CASAGRANDE, C.R.; SILVA, C.M.; BORÉM, A.; NARDINO, M. Association between physiological and agronomic traits and selection of tropical wheat. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.23, p.1-11, 2020. DOI: 10.1007/s12892-020-00069-y.

MOHSEN, A.A.; SHAFI, M.A. Regression and path analysis in Egyptian bread wheat. **Journal of Agriculture Food and Applied Sciences**, v.2, p.139-148, 2014.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. Introduction to linear regression analysis. New York: John Wiley & Sons, Ltda., 1982.

NARDINO, M.; CARVALHO, I.R.; PELEGRIN, A.J.; FERRARI, M.; SZARESKI, V.J.; KONFLAZ, V.A.; SCHMIDT, D.; BARROS, W.S.; SOUZA, V.Q. REML/BLUP in analysis of pre-commercial simple maize hybrids. **International Journal of Current Research**, v.8, p. 37008-37013, 2016.

OJHA, R.; SARKAR, A.; ARYAL, A.; RAHUL, K.C.; TIWARI, S.; POUDEL, M.R.; PANT, K.R.; SHRESTHA, J. Correlation and path coefficient analysis of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. **Farming and Management**, v.3, p.136-141, 2018. DOI: 10.31830/2456-8724.2018.0002.19.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M.; CARVALHO, I.R.; FOLLMANN, D.N.; FERRARI, M.; SZARESKI, V.J.; PELEGRIN, A.J.; SOUZA, V.Q. REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits. **Genetics and Molecular Research**, v.16, p.1-19, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16019525>.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D.C. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v.11, p.783–789, 2020. DOI: 10.1111/2041-210X.13384.

PEARSON, K. Notes on the history of correlation. **Biometrika**, v.13, p.25-45, 1920.

PIAS, O.H.C.; DAMIAN, J.M.; CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L. Variáveis biométricas e componentes produtivos da cultura do trigo: mapeamento e correlação entre variáveis. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, p.227-236, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711532016227>.

PIMENTEL, A.J.B.; ROCHA, J.R.A.S.C.; SOUZA, M.A.; RIBEIRO, G.; SILVA, C.R.; OLIVEIRA, I.C.M. Characterization of heat tolerance in wheat cultivars and effects on production components. **Revista Ceres**, v.62, p.191-198, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562020009>.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2019.

ROLAS. Recomendações de adubações e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Passo Fundo: SBCS Núcleo Regional Sul, 2004. 224p.

SOARES, G.F.; RIBEIRO, W.Q.; PEREIRA, L.F.; LIMA, C.A. DE; SOARES, D.D.S.; MULLER, O.; RASCHER, U.; RAMOS, M.L.G. Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency. **Scientia Agricola**, v.78, p.1–11, 2021. DOI: 10.1590/1678-992x-2019-0304.

SOUROUR, A.; AFEF, O.; SALAH, B; MOUNIR, R.; MONGI, B.Y. Correlation between agronomical and quality traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germplasm in semi-arid environment. **Advances in Plants and Agriculture Research**, v.8, p.612-615, 2018. DOI: 10.15406/apar.2018.08.00393.

SOUZA, V.Q.; NARDINO, M.; BONATO, G.O.; BAHRY, C.A.; CARON, B.O.; ZIMMER, P.D.; SCHIMIDT, D. Desfolha em diferentes estádios fenológicos sobre características agrônômicas em trigo. **Bioscience Journal**, v.29, p.1905-1911, 2013.

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

ZHANG, N., ZHANG, X., SONG, L. Identification and validation of the superior alleles for wheat kernel traits detected by genome-wide association study under different nitrogen environments. **Euphytica**, v.216, 52 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-020-2572-5>.

WRIGHT, S. Correlation and Causation. *Journal of Agriculture*. 1921. DOI: <https://doi.org/10.2307/3966855>.

YAO J.; ZHAO, D.; CHEN, X.; ZHANG, Y.; WANG, J. Use of genomic selection and breeding simulation in cross prediction for improvement of yield and quality in wheat (*Triticum aestivum* L.). **The Crop Journal**, v.6, p.353-365, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.05.003>.

Figura 1 - Temperatura máxima, média, mínima e precipitação para os anos do cultivo de 2016, 2017 e 2018. (a) Temperatura máxima, média e mínima e (b) precipitação para o primeiro ano de cultivo (c) temperatura máxima, média e mínima e (d) precipitação para o segundo ano de cultivo (e) temperatura máxima, média e mínima e (f) precipitação para o terceiro ano de cultivo.

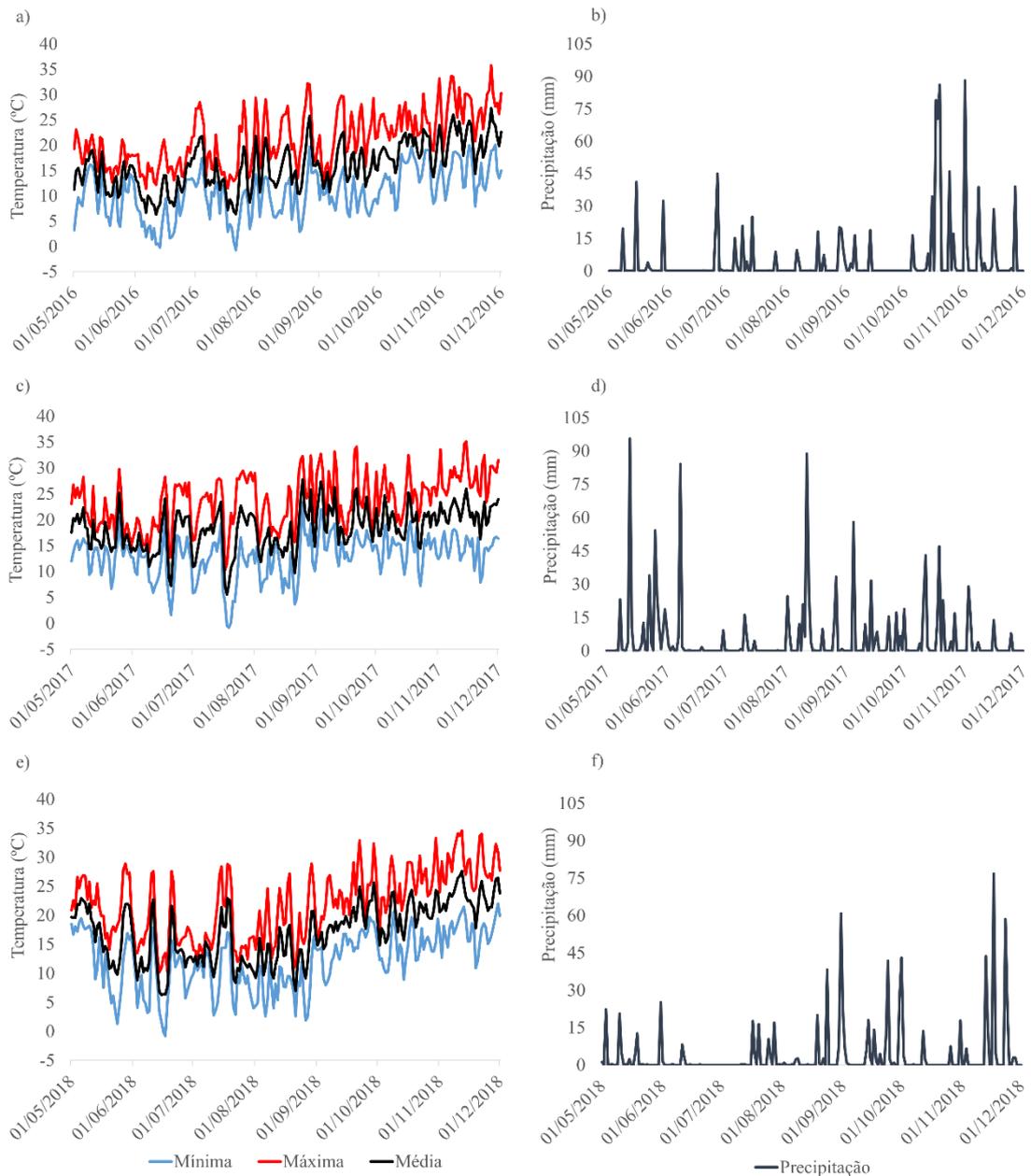


Tabela 1 - Coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres de trigo avaliados nas condições ambientais da primeira (SS1), segunda (SS2) e terceira (SS3) época de semeadura do ano de 2016.

-----SS1-----												
Car ⁽¹⁾	AP	CEP	IMP	NEP	NEA	NGP	NGA	PFV	PFP	MMG	PH	RG
AP	1.00											
CEP	0.26	1.00										
IMP	-0.49*	-0.06	1.00									
NEP	0.61	0.51*	-0.43	1.00								
NEA	-0.18	0.05	0.07	0.19	1.00							
NGP	0.43	0.46	-0.32	0.84*	-0.07	1.00						
NGA	-0.12	0.19	0.08	0.21	0.94*	-0.08	1.00					
PFV	-0.13	-0.14	0.20	-0.29	0.39	-0.55*	0.32	1.00				
PFP	-0.30	0.10	0.40	-0.24	0.51*	-0.32	0.69*	0.11	1.00			
MMG	-0.68*	-0.03	-0.03	-0.39	0.19	-0.36	0.24	0.19	0.39	1.00		
PH	0.74*	0.05	-0.74*	0.66*	-0.09	0.44	-0.08	-0.2	-0.48	-0.45	1.00	
RG	0.2	0.38	-0.49	0.19	0.12	0.02	0.19	-0.01	-0.02	0.33	0.37	1.00
-----SS2-----												
Car ⁽¹⁾	AP	CEP	CEA	IMP	NEP	NEA	NGP	NGA	PFV	MMG	RG	
AP	1.00											
CEP	0.21	1.00										
CEA	0.13	0.14	1.00									
IMP	-0.15	0.14	0.24	1.00								
NEP	0.36	0.94*	0.16	0.24	1.00							
NEA	0.17	0.11	0.99*	0.26	0.14	1.00						
NGP	0.02	0.73*	0.39	0.35	0.72*	0.37	1.00					
NGA	0.05	0.05	0.83*	0.28	0.12	0.87*	0.20	1.00				
PFV	0.33	0.18	0.32	0.35	0.19	0.28	0.23	0.10	1.00			
MMG	-0.65*	0.43	-0.22	0.20	0.33	-0.26	0.42	-0.16	-0.25	1.00		
RG	-0.07	0.18	0.20	-0.20	0.14	0.18	0.42	0.22	-0.09	0.27	1.00	
-----SS3-----												
Car ⁽¹⁾	AP	CEP	IMP	NEA	NGP	NGA	PFV	PFP	MMG	PH	PP	RG
AP	1.00											
CEP	0.30	1.00										
IMP	-0.41	-0.06	1.00									
NEA	0.43	0.71*	-0.29	1.00								
NGP	0.61*	0.74*	-0.04	0.77*	1.00							
NGA	0.43	-0.05	0.05	0.38	0.43	1.00						
PFV	-0.02	-0.13	-0.27	-0.4	-0.27	0.01	1.00					
PFP	0.42	0.06	0.11	0.13	0.44	0.66*	0.20	1.00				
MMG	-0.50*	-0.16	0.56*	-0.50*	-0.41	-0.26	-0.03	-0.17	1.00			
PH	0.31	0.10	-0.77*	0.34	0.07	-0.14	-0.13	-0.18	-0.40	1.00		
PP	-0.42	-0.10	-0.15	-0.37	-0.44	-0.79*	0.16	-0.61*	0.20	0.20	1.00	
RG	-0.23	0.08	-0.36	0.06	-0.20	0.00	0.54*	-0.12	-0.07	0.20	0.40	1.00

⁽¹⁾ = AP: Altura de plantas; CEP: Comprimento da espiga principal; CEA: Comprimento da espiga do perfilho; IMP: Impureza; NEP: Número de espiguetas na espiga principal; NEA: Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP: Número de grãos na espiga principal, NGA: Número de grãos na espiga do perfilho; PFV: Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP: Número de perfilhos produtivos; MMG: Massa de mil grãos; PH: Peso hectolitro; PP: População de plantas; RG: Rendimento de grãos. (*) nível de significância a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres de trigo avaliados nas condições ambientais da primeira (SS4), segunda (SS5) e terceira (SS6) épocas de semeadura do ano de 2017.

-----SS4-----													
Car ⁽¹⁾	CEP	CEA	IMP	NEA	NGP	NGA	PFP	MMG	PP	RG			
CEP	1.00												
CEA	0.23	1.00											
IMP	0.16	-0.27	1.00										
NEA	-0.19	0.34	-0.12	1.00									
NGP	0.32	-0.22	-0.13	0.05	1.00								
NGA	0.02	0.08	-0.56*	0.33	0.27	1.00							
PFP	0.54*	-0.13	0.24	-0.15	0.33	0.15	1.00						
MMG	0.45	-0.11	0.74*	-0.40	-0.08	-0.59*	0.47	1.00					
PP	0.14	-0.22	0.06	-0.12	-0.35	-0.11	0.18	0.07	1.00				
RG	-0.27	-0.32	0.43	-0.06	-0.11	-0.19	-0.49	-0.06	-0.23	1.00			
-----SS5-----													
Car ⁽¹⁾	AP	CEP	CEA	IMP	NEP	NEA	NGP	NGA	PFV	MMG	PH	PP	RG
AP	1.00												
CEP	-0.22	1.00											
CEA	-0.32	0.43	1.00										
IMP	-0.34	0.17	0.06	1.00									
NEP	0.19	0.44	0.07	-0.11	1.00								
NEA	-0.29	0.27	0.43	0.23	-0.39	1.00							
NGP	-0.10	0.39	0.23	0.00	0.84*	-0.03	1.00						
NGA	0.14	0.08	0.69*	-0.27	0.23	0.15	0.32	1.00					
PFV	0.23	-0.40	-0.02	-0.02	-0.02	-0.28	-0.09	0.12	1.00				
MMG	-0.57*	0.16	0.00	0.08	-0.04	-0.09	-0.11	-0.20	-0.24	1.00			
PH	0.17	-0.05	-0.31	-0.26	0.18	-0.28	0.19	-0.02	-0.41	-0.12	1.00		
PP	-0.24	0.11	-0.25	0.00	0.08	0.02	0.12	-0.56*	-0.08	0.02	0.17	1.00	
RG	0.02	0.23	0.31	0.22	-0.30	0.39	-0.20	-0.05	-0.17	-0.32	0.18	0.25	1.00
-----SS6-----													
Car ⁽¹⁾	AP	CEP	CEA	NEA	NGP	NGA	PFV	MMG	PH	PP	RG		
AP	1.00												
CEP	-0.11	1.00											
CEA	0.10	0.46	1.00										
NEA	0.15	0.42	0.91*	1.00									
NGP	0.07	0.58*	0.16	0.01	1.00								
NGA	-0.01	-0.06	0.49	0.47	0.07	1.00							
PFV	-0.29	-0.48	-0.43	-0.31	-0.60*	-0.08	1.00						
MMG	0.21	0.29	0.30	0.40	-0.08	0.12	-0.24	1.00					
PH	0.11	-0.17	-0.23	-0.45	0.14	-0.18	-0.08	-0.32	1.00				
PP	-0.39	-0.07	0.11	0.00	0.02	0.06	-0.28	-0.30	0.11	1.00			
RG	0.16	0.08	0.15	0.00	0.48	-0.12	-0.17	-0.15	0.41	-0.17	1.00		

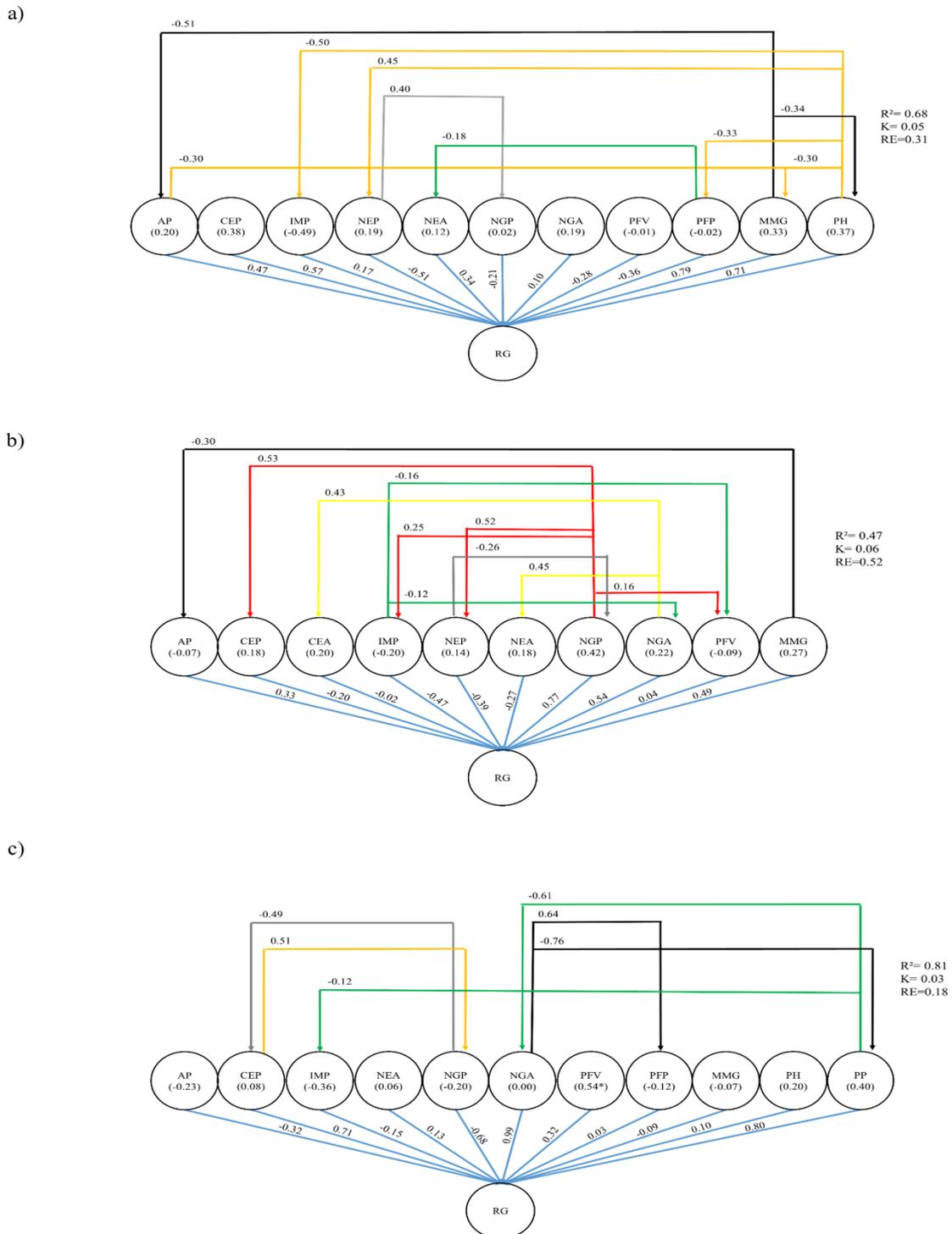
⁽¹⁾ = AP: Altura de plantas; CEP: Comprimento da espiga principal; CEA: Comprimento da espiga do perfilho; IMP: Impureza; NEP: Número de espiguetas na espiga principal; NEA: Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP: Número de grãos na espiga principal, NGA: Número de grãos na espiga do perfilho; PFV: Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP: Número de perfilhos produtivos; MMG: Massa de mil grãos; PH: Peso hectolitro; PP: População de plantas; RG: Rendimento de grãos. (*) nível de significância a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres de trigo avaliados nas condições ambientais da primeira (SS7), segunda (SS8) e terceira (SS9) época de semeadura do ano de 2018.

-----SS7-----													
Car ⁽¹⁾	CEP	CEA	IMP	NEA	NGP	NGA	PFV	PFP	MMG	PH	PP	RG	
CEP	1.00												
CEA	0.35	1.00											
IMP	0.27	-0.29	1.00										
NEA	0.36	0.98*	-0.22	1.00									
NGP	0.77*	0.60	-0.07	0.58*	1.00								
NGA	0.34	0.97*	-0.34	0.95*	0.64*	1.00							
PFV	0.27	0.16	-0.09	0.15	0.22	0.17	1.00						
PFP	0.19	0.40	0.03	0.42	0.31	0.35	0.34	1.00					
MMG	0.02	0.08	0.03	0.12	0.05	0.21	0.18	-0.04	1.00				
PH	-0.05	-0.04	-0.32	-0.09	0.29	0.07	-0.07	-0.24	-0.44	1.00			
PP	-0.45	-0.19	-0.35	-0.26	-0.35	-0.22	-0.35	0.10	-0.48	0.14	1.00		
RG	-0.32	0.12	-0.66*	0.04	0.08	0.18	-0.30	-0.17	-0.35	0.69*	0.39	1.00	
-----SS8-----													
Car ⁽¹⁾	AP	CEP	CEA	NEP	NEA	NGP	NGA	PFV	PFP	MMG	PH	PP	RG
AP	1.00												
CEP	0.31	1.00											
CEA	-0.02	0.71*	1.00										
NEP	0.43	0.78*	0.58	1.00									
NEA	-0.05	0.67*	0.92*	0.53*	1.00								
NGP	0.50*	0.43	0.12	0.64*	0.10	1.00							
NGA	0.45	0.63*	0.62*	0.57*	0.65*	0.58*	1.00						
PFV	-0.07	0.17	0.24	0.25	0.19	0.10	0.04	1.00					
PFP	0.20	0.52*	0.66*	0.41	0.62*	0.24	0.67*	-0.43	1.00				
MMG	-0.47	-0.11	0.12	-0.57*	0.12	-0.50	-0.05	-0.29	0.17	1.00			
PH	0.47	0.31	-0.09	0.42	-0.15	0.62*	0.32	0.35	-0.14	-0.43	1.00		
PP	-0.22	-0.33	-0.40	-0.47	-0.48	-0.20	-0.33	-0.55*	-0.12	0.49	-0.11	1.00	
RG	0.39	-0.21	-0.51*	-0.23	-0.55*	0.09	-0.09	0.00	-0.33	-0.04	0.43	0.17	1.00
-----SS9-----													
Car ⁽¹⁾	AP	CEA	NEP	NEA	NGP	NGA	PFV	PFP	MMG	PH	PP	RG	
AP	1.00												
CEA	0.29	1.00											
NEP	0.33	0.36	1.00										
NEA	0.29	0.96*	0.27	1.00									
NGP	0.11	-0.01	0.49	-0.05	1.00								
NGA	0.42	0.85*	0.29	0.77*	0.11	1.00							
PFV	0.48	-0.02	0.21	0.10	0.20	-0.09	1.00						
PFP	0.42	0.60*	0.37	0.62*	0.31	0.40	0.32	1.00					
MMG	-0.51	-0.12	-0.19	-0.22	0.00	0.10	-0.57*	-0.52*	1.00				
PH	0.54	-0.07	-0.15	-0.02	-0.38	-0.13	0.19	0.16	-0.47	1.00			
PP	0.02	0.21	-0.13	0.21	-0.05	0.44	-0.55*	-0.29	0.43	0.05	1.00		
RG	0.20	0.19	-0.30	0.15	-0.12	0.35	-0.10	-0.09	0.21	0.41	0.46	1.00	

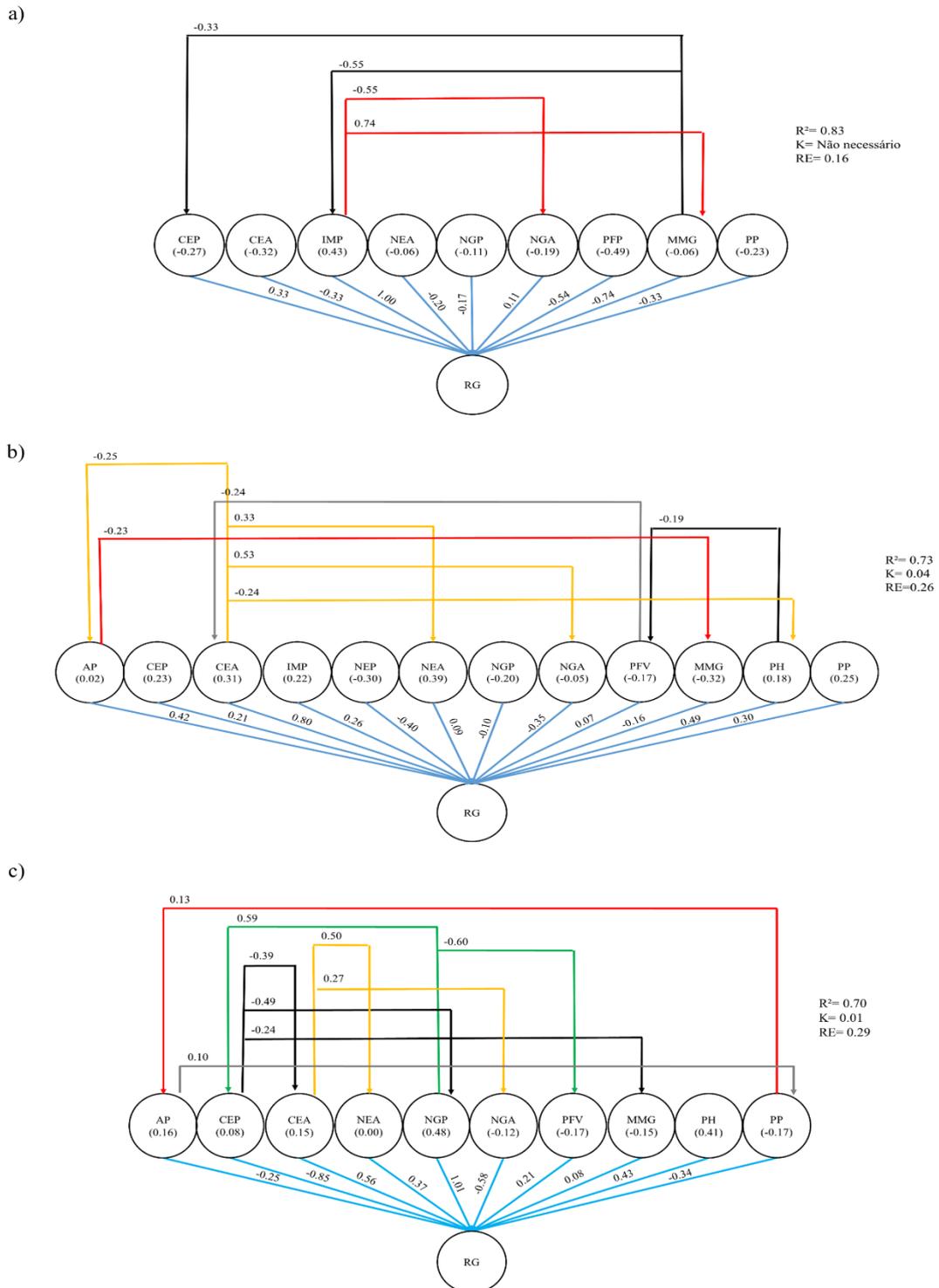
⁽¹⁾ = AP: Altura de plantas; CEP: Comprimento da espiga principal; CEA: Comprimento da espiga do perfilho; IMP: Impureza; NEP: Número de espiguetas na espiga principal; NEA: Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP: Número de grãos na espiga principal, NGA: Número de grãos na espiga do perfilho; PFV: Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP: Número de perfilhos produtivos; MMG: Massa de mil grãos; PH: Peso hectolitro; PP: População de plantas; RG: Rendimento de grãos. (*) nível de significância a 5% de probabilidade de erro.

Figura 2 - Análises de causa e efeito nas condições ambientais SS1 (a), SS2 (b) e SS3 (c).



⁽¹⁾ = As correlações são mostradas entre parênteses para cada variável. Os efeitos diretos são mostrados pela tonalidade azul em conexão direta ao rendimento de grãos. Os efeitos indiretos são mostrados acima. AP: Altura de plantas; CEP: Comprimento da espiga principal; CEA: Comprimento da espiga do perfilho; IMP: Impureza; NEP: Número de espiguetas na espiga principal; NEA: Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP: Número de grãos na espiga principal, NGA: Número de grãos na espiga do perfilho; PFV: Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP: Número de perfilhos produtivos; MMG: Massa de mil grãos; PH: Peso hectolitro; PP: População de plantas; RG: Rendimento de grãos. (*) indicam probabilidade de significância de erro de 5%. R^2 : Coeficiente de determinação. K: Valor do fator de correção. RE: Efeito residual.

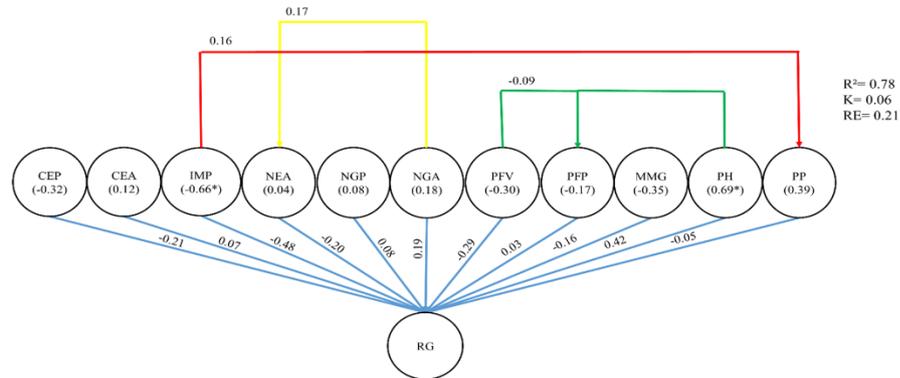
Figura 3 - Análises de causa e efeito nas condições ambientais SS4 (a), SS5 (b) e SS6 (c).



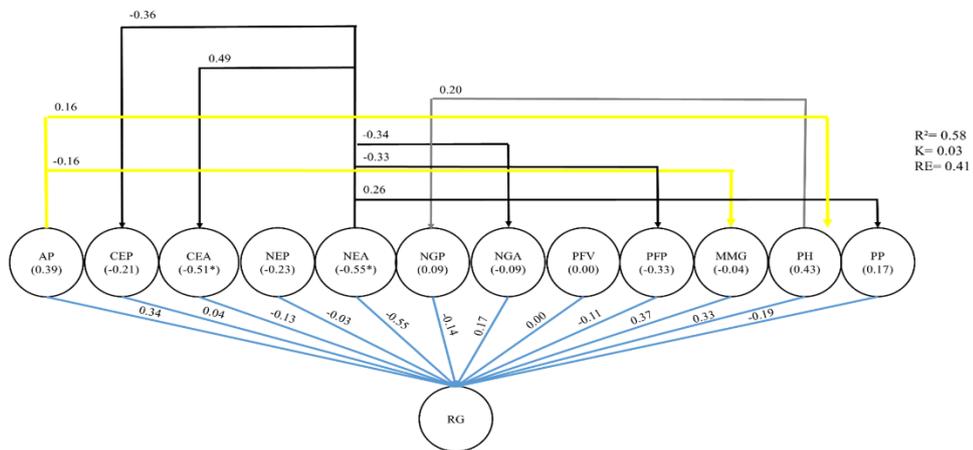
(1) = As correlações são mostradas entre parênteses para cada variável. Os efeitos diretos são mostrados pela tonalidade azul em conexão direta ao rendimento de grãos. Os efeitos indiretos são mostrados acima. AP: Altura de plantas; CEP: Comprimento da espiga principal; CEA: Comprimento da espiga do perfilho; IMP: Impureza; NEP: Número de espiguetas na espiga principal; NEA: Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP: Número de grãos na espiga principal, NGA: Número de grãos na espiga do perfilho; PFV: Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP: Número de perfilhos produtivos; MMG: Massa de mil grãos; PH: Peso hectolitro; PP: População de plantas; RG: Rendimento de grãos. (*) indicam probabilidade de significância de erro de 5%. R^2 : Coeficiente de determinação. K: Valor do fator de correção. RE: Efeito residual.

Figura 4 - Análises de causa e efeito nas condições ambientais SS7 (a), SS8 (b) e SS9 (c).

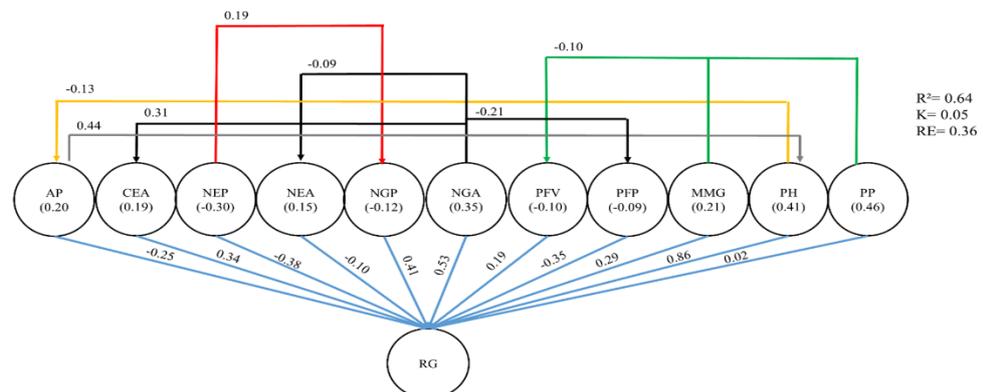
a)



b)



c)



⁽¹⁾ = As correlações são mostradas entre parênteses para cada variável. Os efeitos diretos são mostrados pela tonalidade azul em conexão direta ao rendimento de grãos. Os efeitos indiretos são mostrados acima. AP: Altura de plantas; CEP: Comprimento da espiga principal; CEA: Comprimento da espiga do perfilho; IMP: Impureza; NEP: Número de espiguetas na espiga principal; NEA: Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP: Número de grãos na espiga principal, NGA: Número de grãos na espiga do perfilho; PFV: Número de perfilhos na fase vegetativa; PPF: Número de perfilhos produtivos; MMG: Massa de mil grãos; PH: Peso hectolitro; PP: População de plantas; RG: Rendimento de grãos. (*) indicam probabilidade de significância de erro de 5%. R^2 : Coeficiente de determinação. K: Valor do fator de correção. RE: Efeito residual.

5 CAPÍTULO III: CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE CARACTERES DE TRIGO EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES

RESUMO

O trigo é uma cultura de grande importância alimentar no Brasil e o melhoramento dos genótipos é uma constante para o avanço produtivo em diferentes locais de cultivo. No entanto, o melhoramento dessa cultura ainda é centrado em locais isolados, o que compromete o avanço em novas áreas de cultivo pela enorme demanda de informações existente. Para isso, quatro genótipos de trigo foram considerados para o estudo das associações e interrelações entre caracteres de trigo submetidos a nove ambientes nas safras agrícolas dos anos 2016, 2017 e 2018. O experimento foi realizado em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo avaliados dois grupos. Os caracteres morfológicos avaliados foram altura de plantas (AP), comprimento da espiga principal (CEP) e comprimento da espiga do perfilho (CEA), enquanto que os caracteres avaliados do grupo produtivo foram o número de espiguetas na espiga principal (NEP), número de espiguetas na espiga do perfilho (NEA), número de grãos na espiga principal (NGP), número de grãos na espiga do perfilho (NGA), número de perfilhos na fase vegetativa (PFV), número de perfilhos produtivos (PFP), impurezas (IMP), peso hectolitro (PH), população de plantas (PP), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (RG). As correlações canônicas entre os grupos morfológico e produtivo são dependentes na maioria dos ambientes. Plantas maiores com maior comprimento da espiga principal e maior comprimento da espiga do perfilho podem ser selecionadas indiretamente para o aumento do rendimento de grãos nas diferentes condições de semeadura testadas.

Palavras-Chave: interrelações, caracteres morfológicos, caracteres produtivos, seleção indireta.

CANONICAL CORRELATIONS BETWEEN WHEAT CHARACTERS IN MULTI ENVIRONMENT TRIALS

ABSTRACT

Wheat is a crop of great food importance in Brazil and the improvement of genotypes is a constant for the productive advance in different places of cultivation. However, the improvement of this culture is still centered on isolated places, which compromises the advance in new cultivation areas due to the enormous demand for existing information. For this, four wheat genotypes were considered for the study of associations and interrelationships between wheat characters submitted to nine environments in the agricultural crops of the years 2016, 2017 and 2018. The experiment was carried out in a randomized block design with four replications, being evaluated two groups. The morphological characters evaluated were plant height (PH), length of the main ear (LMS) and length of the ear of the tiller (LTS), while the evaluated characters of the productive group were the number of spikelets in the main ear (SMS), number of spikelets in the ear of the tiller (STS), Number of grains in the main ear (NMS), number of grains in the ear of the tiller (NTS), number of tillers in the vegetative stage (NTV), number of productive tillers (NTP), impurities (IMP), hectoliter weight (HW), plant population (PP), thousand grain mass (TGM) and grain yield (GY). The canonical correlations between morphological and productive groups are dependent in most environments. Larger plants with greater length of the main ear and greater length of the ear of the tiller can be indirectly selected to increase the grain yield in the different tested sowing conditions.

Keywords: interrelationships, morphological characters, productive characters, indirect selection.

5.1 INTRODUÇÃO

A busca por genótipos superiores é um dos principais desafios nas culturas agrícolas e, no Trigo (*Triticum aestivum* L.), são realizadas pesquisas que almejam além de genótipos mais produtivos, identificar ambientes mais favoráveis e adequados para seleção e para uma produção agrícola mais sustentável (HATFIELD; DOLD, 2018). Para tanto, conhecer as relações entre os traços morfológicos e produtivos é essencial para otimização desse processo, visto que o trigo ainda é uma cultura muito sensível às oscilações ambientais (SOARES et al., 2021).

Estima-se que, em 2021, a produção de trigo atinja 7 milhões de toneladas no Brasil, o que é favorecido pelo aumento das áreas de cultivo, especialmente na região sul do país que representa 85% de toda a produção nacional (USDA, 2021). Apesar desse aumento na produção, a demanda nacional ainda é muito maior do que a oferta e, nesses casos, o avanço de áreas promissoras ao cultivo é um diferencial que pode auxiliar no avanço da cultura (CONAB, 2021).

A identificação de relações entre variáveis ou grupos de variáveis é importante para a elucidação e maior detalhamento das respostas observadas nos experimentos agrícolas. O uso da técnica de correlações canônicas é comum em diversas espécies de interesse agrícola como milho (ALVES et al., 2016), trigo (CARVALHO et al., 2015; MEZZOMO et al., 2021) e soja (PEREIRA et al., 2017). Nesta técnica, estudos da inter-relação e associação entre grupos de caracteres são realizadas com o intuito de possibilitar a seleção indireta de ideótipos e facilitar o processo do melhoramento que comumente utiliza-se de um grande número de caracteres para a seleção (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

No Brasil, estudos com o melhoramento da cultura de trigo são concentrados basicamente na região sul do país (CAIERÃO et al., 2014). De acordo com as condições ambientais, estas são classificadas em regiões homogêneas e macrorregiões de adaptação por meio das similaridades quanto à estresses bióticos e abióticos, precipitação, quantidade de frio invernal, excesso de calor na fase de enchimento de grãos, altitude, entre outras (BRASIL, 2008; BORÉM; SCHEEREN, 2015).

Os locais de pesquisa e melhoramento no estado do Rio Grande do Sul são, em geral, localizados em regiões específicas de cultivo e com ganhos genéticos já conhecidos. Todavia, Follmann et al. (2017) evidenciou que novas regiões de cultivo no Sul do país podem ser até três vezes mais promissoras para o desenvolvimento de materiais mais produtivos, o que gera

a demanda por informações dessa finalidade nesses ambientes que ainda detém um percentual muito pequeno de informações, mesmo com altos ganhos genéticos possíveis.

A relação de dependência entre grupos a partir do uso das correlações canônicas é comum na cultura do trigo, contudo, a interrelação existente entre os caracteres em muitos casos é uma característica intrínseca a cada manejo e ambiente adotado (CARVALHO et al., 2015). Segundo Saba et al. (2018), em condições de sequeiro, por exemplo, relações entre altura de plantas, biomassa, peso e número de grãos são dependentes junto ao rendimento de grãos, todavia, podem apresentar relações distintas quando submetidas a outras condições ambientais, o qual é um fator determinante para a indução assertiva sobre as relações de causa e efeito entre grupos e entre caracteres.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as correlações canônicas entre os grupos de caracteres morfológicos e produtivos de trigo em diferentes condições ambientais e anos agrícolas.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados quatro genótipos, TBIO Sintonia, TBIO Sinuelo, TBIO Sossego e TBIO Toruk, em nove ambientes na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar), Campus São Vicente do Sul, RS, Brasil, (29°42'21" S; 54° 41'39" W; e altitude de 134 m). A classificação climática segundo Köppen é do tipo Cfa-subtropical, com verões quentes e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (ALVARES et al., 2013).

Os ensaios foram realizados considerando o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições nos meses de maio, junho e julho dos anos agrícolas 2016, 2017 e 2018, onde cada condição ambiental representa uma época de semeadura (SS1: 12/05/2016; SS2: 07/06/2016; SS3: 04/07/2016; SS4: 05/05/2017; SS5: 14/06/2017; SS6: 05/07/2017; SS7: 23/05/2018, SS8: 06/06/2018; SS9: 11/07/2018).

Os genótipos são oriundos de mesma base genética e são todos adaptados à região de cultivo, todavia, são distintos quanto as características de ciclo produtivo e classificação industrial. Nesse contexto, TBIO Sossego (ciclo médio) e TBIO Sinuelo (ciclo tardio) tem sua classificação voltada especialmente para trigo pão, enquanto que os genótipos TBIO Sintonia (ciclo precoce) e TBIO Toruk (ciclo médio) são classificados como trigo melhorador e como trigo de dupla finalidade (pão e trigo melhorador), respectivamente (BIOTRIGO, 2017).

O manejo de adubação, controle de pragas, doenças e plantas daninhas seguiram as recomendações para a cultura do *T. aestivum*, conforme o Informativo Técnico para Trigo e Triticale (EMBRAPA, 2016), bem como o zoneamento agroclimático da cultura (BRASIL, 2015).

Em cada condição ambiental foram mensurados os caracteres morfológicos e produtivos, os quais foram padronizados e separados nestes dois grupos para a identificação das suas associações. Os caracteres morfológicos avaliados foram altura de plantas (AP), comprimento da espiga principal (CEP) e comprimento da espiga do perfilho (CEA), enquanto que os caracteres avaliados do grupo produtivo foram o número de espiguetas na espiga principal (NEP), número de espiguetas na espiga do perfilho (NEA), número de grãos na espiga principal (NGP), número de grãos na espiga do perfilho (NGA), número de perfilhos na fase vegetativa (PFV), número de perfilhos produtivos (PFP), impurezas (IMP), peso hectolitro (PH), população de plantas (PP), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (RG).

Realizou-se a análise de independência dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias via Teste de Levene e, onde não atendidos os pressupostos, os caracteres foram desconsiderados dentro do ambiente de ocorrência. O mesmo ocorreu para o diagnóstico de multicolinearidade realizada para cada ambiente a partir da matriz de variáveis explicativas, a qual foi testada e ajustada pelo número de condição (NC) e pelo Fator de Inflação da Variância (FIV). A classificação do NC e FIV obedeceu ao critério de Montgomery e Peck (1982), descrito por Cruz, Regazzi & Carneiro (2012).

O NC foi estimado pela equação $NC = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}$ sendo λ_{\max} o maior autovalor da matriz de correlação e o λ_{\min} o menor autovalor da matriz de correlação. O FIV foi calculado pela equação $VIF = \frac{1}{1-R_j^2}$ onde R_j^2 é o coeficiente de determinação. As análises de correlações canônicas foram calculadas para a obtenção dos pares e coeficientes canônicos e foram interpretados a partir das cargas canônicas cruzadas visto a maior eficiência frente as metodologias de obtenção dos pesos canônicos (DIEL et al., 2020).

As correlações canônicas são formadas a partir do número de caracteres presentes no menor grupo e a primeira correlação canônica formada será aquela que maximiza a relação entre as funções X_1 e Y_1 . Estas funções formam o primeiro par canônico associado aquela correlação canônica, à qual é expressa por: $r_1 = \frac{C\hat{c}v(X_1, Y_1)}{\sqrt{\hat{V}(X_1) \cdot \hat{V}(Y_1)}}$, sendo $C\hat{c}v(X_1, Y_1) = a' S_{12} b$,

$\hat{V}(X_1) = a' S_{11} a$ e $\hat{V}(Y_1) = b' S_{22} b$ em que: S_{11} = matriz pxq de covariâncias entre os caracteres do

grupo morfológico; S_{22} = matriz $q \times q$ de covariâncias entre os caracteres do grupo produtivo; S_{12} = matriz $p \times q$ de covariâncias entre os caracteres do grupo morfológico e produtivo (CRUZ et al. 2012).

A variância explicada para cada grupo e para cada ambiente foi calculado por meio do índice de redundância por meio da carga canônica quadrada média multiplicado pelo R^2 canônico. Quando a correlação canônica e o grau de variância compartilhada forem altos, o índice de redundância será alto e indicará a confiabilidade da correlação canônica (HAIR et al., 2009).

As análises estatísticas foram realizadas a partir do Software R Core Team (2019) com auxílio dos pacotes *yacca* (BUTTS, 2018), *pracma* (BORCHERS, 2021), *faraway* (FARAWAY, 2016) e *metan* (OLIVOTO; LÚCIO, 2020), considerando-se os níveis de probabilidade de erro de 5%.

5.3 RESULTADOS

Cada um dos nove ambientes, correspondentes as épocas de semeadura, apresentaram grandes variações ambientais entre os anos testados. Essas condições, quando muito distintas e associadas aos resultados das correlações canônicas implicam em maiores dificuldades na seleção indireta pela diferença de comportamento e resposta aos meios. Nesse âmbito, a precipitação foi o fator que mais oscilou entre os ambientes, sendo as maiores amplitudes evidenciadas nos meses de outubro e maio, que registraram 247.6 e 214.4 mm de diferença entre os anos (Figura 1).

O teste dos pressupostos para homogeneidade das variâncias e normalidade dos erros para cada caractere evidenciou que, a depender do ambiente, diferentes caracteres não seguiam ao menos um dos pressupostos, sendo estes desconsiderados na análise de correlação canônica. Já para o diagnóstico de multicolinearidade para cada um dos grupos também houve a exclusão de caracteres.

Em SS1, CEA, NGA e PP foram desconsiderados por não cumprirem os pressupostos, o que ocorreu também para PFP, PH e PP em SS2 e para CEA e NEA em SS3. (Tabela 1). IMP, NEP, PFP foram desconsiderados em SS6 (Tabela 2), AP, NEP, NGA em SS7 e CEP e IMP em SS9 (Tabela 3). Os únicos caracteres que atenderam a todos requisitos e estão presentes em todos os ambientes significativos foram NGP, MMG e RG.

As correlações canônicas foram significativas e de alta magnitude na maioria dos ambientes, sendo que as variâncias decorrentes são explicadas com valores iguais ou superiores

a 81% nos ambientes e pares canônicos significativos. Os grupos morfológicos e produtivos apresentaram diferenças de acordo com os ambientes, sendo influenciado pelas condições distintas entre épocas e anos.

Os ambientes significativos evidenciados foram SS1, SS2, S33, SS6, SS7 e SS9, enquanto que SS4, SS5 e SS8 não foram significativos em nenhum dos pares canônicos (Tabela 1; Tabela 2; Tabela 3). Para os ambientes não significativos, os quais representam 33.3%, verifica-se que não há uma interdependência assim como ocorre nos demais ambientes, não sendo assim possível identificar para estes quais os caracteres promissores para o melhoramento genético.

As correlações canônicas (r) entre os caracteres morfológicos e produtivos foram iguais ou superiores a 80% entre os pares canônicos significativos. Em relação as correlações do rendimento de grãos nesses ambientes significativos, estes apresentaram sempre magnitudes baixas, sendo menores ou iguais a -0.30.

A significância apenas no primeiro par canônico foi evidenciada nos ambientes SS1 e SS3, ao passo que o ambiente SS2 foi o único que apresentou significância nos três pares canônicos resultantes (Tabela 1). As associações entre os grupos retratam que quanto maior forem os valores de AP (0.93) maior serão o PH (0.64), NEP (0.70) e menor será MMG (0.59), o que indica uma associação positiva entre os caracteres (Tabela 1).

Para o SS2, observou-se similaridade nas associações positivas entre os caracteres morfológicos e produtivos. Nesse âmbito, AP, CEP e CEA estão associados em mesmo sentido que IMP, NEP, NEA, NGP, NGA, PFV e RG, sendo que CEA (0.98) é o mais representativo em termos morfológicos em associação a NEA (0.98) e NGA (0.80) (Tabela 1). Já em sentido contrário, apenas MMG (-0.32) apresentou relação oposta quando comparado ao grupo morfológico (Tabela 1).

Os segundo e terceiro pares canônicos do ambiente SS2 revelam a dependência dos grupos de caracteres assim como no primeiro par canônico, todavia, nota-se que essas dependências são relativamente distintas entre os pares, apesar de os níveis de explicação em cada par ainda serem altos (Tabela 1).

O grupo dos caracteres morfológicos apresentou resultados negativos para AP (-0.09) e CEP (-0.98) em SS3, diferindo dos ambientes SS2 e SS1 (Tabela 1). No entanto, o grupo dos caracteres produtivos também evidenciou também sentido negativo para os caracteres IMP (-0.03), NEP (-0.64), NGP (-0.64), PH (-0.03) e RG (-0.13) em SS3, embora as magnitudes destas sejam médias ou baixas (Tabela 1). Com isso, verifica-se que nos três ambientes, conforme aumenta-se os caracteres do grupo morfológico, aumenta-se NEP, NGP e RG (Tabela 1).

Os ambientes SS6 (Tabela 2), SS7 (Tabela 3) e SS9 (Tabela 3) apresentaram apenas o primeiro par canônico significativo e R^2 maiores que 0.91, indicando alta confiabilidade na explicação da relação canônica existente. Para SS6, CEA foi o caractere morfológico que mais respondeu positivamente aos caracteres produtivos NEA e NGA, ressaltando que quanto maior o CEA, maior será o NEA e, conseqüentemente, o NGA. Valores positivos nos grupos morfológicos e negativos nos grupos produtivos mostram a relação contrária que é observada, a exemplo de PFP e PH que são menores quanto maiores forem à AP, CEP e CEA.

Ao contrário do que é observado em SS6 (Tabela 2), SS7 obteve valores negativos para os caracteres morfológicos CEP (-0.44) e CEA (-0.99), o que também ocorreu para AP (-0.34) e CEA (-1.00) em SS9 (Tabela 3). A correlação canônica em SS7 (0.99) é alta entre os dois grupos e, quando relacionada ao rendimento de grãos, verifica-se que esta diminui quando os caracteres morfológicos forem também baixos.

A condição SS9 (Tabela 3), a correlação canônica e a dependência dos grupos podem ser explicadas de maneira satisfatória pelo primeiro par canônico. Em associação aos caracteres produtivos, verifica-se que apenas NGP (0.00), PFP (0.00), MMG (0.15) e PH (0.04) possuem relação contrária e pouco representativa em termos de magnitude.

Em comparação aos anos agrícolas 2016, 2017 e 2018, as condições anuais foram muito distintas em termos de condição climática e a relação entre os caracteres observada foi distinta e por vezes, muito singular de uma condição ambiental específica registrada, como no caso a precipitação. Já quanto as épocas de semeadura, os ambientes SS3 (Tabela 1), SS6 (Tabela 2) e SS9 (Tabela 3) referentes a última época de semeadura de cada ano evidenciam que os caracteres morfológicos e produtivos possuem a mesma relação, sendo que os atributos morfológicos estão sempre em mesmo sentido que a variável RG nestas condições testadas. Nesse caso, havendo sentido positivo nos atributos morfológicos, RG responderá também com incremento, assim como observado nos ambientes SS3 e SS6, sendo o contrário também válido como ocorrido no ambiente SS9 para o primeiro par canônico.

Em condições específicas dos ambientes, os caracteres IMP, NEA, NGA, PFP, PFV, MMG, PH, PP apresentaram diferenças nas interrelações, sendo que sua recomendação deve ser analisada de maneira mais particular e detalhada.

No que tange aos valores são relativos ao índice de redundância para cada grupo e para cada ambiente, os valores foram, em geral, todos altos para o índice considerando os parâmetros morfológicos sobre os produtivos, sendo acima de 0.70 com exceção do SS4 que apresentou valor de 0.47. Já o índice de redundância considerando o grupo produtivo sobre o morfológico evidenciou valores baixos em sua maioria oscilando entre 0.16 a 0.55.

5.4 DISCUSSÃO

As condições ambientais na cultura do trigo ainda são consideradas imprescindíveis, não apenas no que tange ao desenvolvimento de novos genótipos, mas também no que diz respeito aos já existentes em seus amplos locais de cultivo, sendo esta uma das principais barreiras em que são buscados resultados promissores (ASSENG et al., 2015). Dentre as condições mais limitantes estão o estresse hídrico ou altas precipitações, altas temperaturas e geadas tardias. Nesse contexto, as condições ideais para o cultivo do trigo são temperaturas entre 15-25° C nas fases do perfilhamento e desenvolvimento de folhas (BORÉM; SCHEEREN, 2015), enquanto que para a precipitação valores entre 400 a 600 mm (CORDEIRO et al., 2015), ou até mesmo superior podem ser considerados.

De acordo com Borém & Scheeren (2015), os riscos a predisposição de geadas são maiores comumente quando realizadas as sementeiras antecipadas na região sul do Brasil, as quais podem coincidir com o espigamento ou com a floração da cultura e causar perdas significativas no rendimento. Entretanto, há um consenso que as condições meteorológicas, nutricionais e de manejo da cultura também devam ser consideradas e embasadas de maneira conjunta e específica com vistas ao melhoramento e a busca por melhores rendimentos (BORÉM; SCHEEREN, 2015; HATFIELD; DOLD, 2018). Tal resultado corrobora com o presente estudo em que os níveis de manejo e respostas da cultura de maneira mais singular a cada época seja uma possibilidade de incremento no rendimento.

Condições agrometeorológicas adequadas em diferentes datas de sementeira para o cultivo de trigo são um ponto chave na recomendação de épocas e, conforme Battisti et al. (2013), sementeiras mais tardias, entre os meses de junho e julho, permitem maiores produtividades potenciais na cultura no Estado do Rio Grande do Sul. Esse fato, embora evidenciado em condição mais ampla de recomendação para a produção pode também ser associado para a região estudada em nosso estudo, no qual as épocas tardias de sementeira SS3 (Tabela 1), SS6 (Tabela 2) e SS9 (Tabela 2) foram as mais adequadas para a seleção devido a associação existente de dependência entre os caracteres nesses locais.

Segundo Follmann et al. (2017), o melhoramento de trigo no Estado do Rio Grande do Sul ocorre prioritariamente em regiões homogêneas de cultivo e estão concentradas em regiões distintas a essa microrregião considerada neste estudo, o que demonstra a grande demanda de informações necessárias nesses locais que ainda estão em ascensão como a estudada neste estudo. Tal consideração reverbera também a importância de pesquisas e resultados para

aplicação de forma mais específica no melhoramento genético de acordo com a região de cultivo testada.

Assim como observado em nosso estudo, a dependência entre caracteres e grupos por meio das correlações canônicas também foi evidenciada por outros autores com a cultura do Trigo, conforme evidenciado por Mezzomo et al. (2021) relacionando os grupos morfológicos e fisiológicos, e por Carvalho et al. (2015) relacionando caracteres entre os grupos morfológicos e produtivos.

Pares canônicos significativos e com correlação canônica próxima ou superior a 0.99 foram observados por Carvalho et al. (2015), resultado este que corrobora com os encontrados neste estudo e representa alta confiabilidade dos resultados. Já Mezzomo et al. (2021) encontrou correlações canônicas inferiores a esses resultados (0.78), os quais possuem também boa precisão.

Saba et al. (2018) observou que plantas mais altas com maior comprimento da espiga principal são relacionadas positivamente com o incremento do rendimento de grãos. Em nosso estudo, tais resultados também foram encontrados para os ambientes SS1, SS2, SS3 e SS6, SS7, SS9, que apesar de apresentarem correlações baixas com o rendimento de grãos, sempre resultaram em mesmo sentido de aumento ou diminuição entre estas no que diz respeito aos primeiros pares canônicos destes ambientes (Tabela 1, Tabela 2; Tabela 3).

A relação entre AP e MMG de maneira proporcional evidenciada por Saba et al. (2018) para o aumento no rendimento de grãos é parcialmente oposto aos resultados evidenciados em nosso estudo, onde os grupos morfológicos que constituem de se AP apresentaram relação proporcional apenas na condição ambiental SS6, e relação antagônica nas condições ambientais SS1, SS2, SS3 e SS9 (Tabela 1 e 2). Isso evidencia que o fator ambiental representa crucial importância para o caractere MMG, mais do que a própria época de semeadura, visto que há pouca similaridade se consideradas as épocas entre cada ano.

O uso de caracteres relacionados a fase vegetativa e reprodutiva por meio de grupos morfológicos e produtivos são importantes na formação de futuros novos ideótipos relacionados ao maior rendimento produtivo da cultura do trigo (Valério et al., 2008). No entanto, ainda são poucos os estudos que se utilizam das características como CEP e CEA, NEP e NEA considerados neste estudo.

Os caracteres IMP, NEA e NGA apresentaram relações diversas, ora convergentes, ora divergentes a depender do ambiente, o que pode ser explicado pelas variações das condições ambientais. Nesse caso, Pradhan et al. (2012) mencionam que em casos de estresse hídrico e altas temperaturas, especialmente no período do espigamento, a massa de mil grãos e o número

de grãos por espiga são alguns dos componentes mais afetados e refletem após no menor rendimento de grãos da cultura.

O índice de redundância evidenciado em todos os ambientes para os grupos morfológico e produtivo é, em geral, superior ao encontrado por Saba et al. (2018) onde os valores oscilaram entre 0.01 a 0.49. No entanto, o grupo morfológico foi o que apresentou, assim como o presente estudo, os melhores índices de redundância em comparação ao grupo produtivo.

5.5 CONCLUSÃO

As correlações canônicas entre os grupos morfológico e produtivo são dependentes na maioria dos ambientes, especialmente em semeaduras realizadas em julho.

Plantas maiores, com maior comprimento da espiga principal e maior comprimento da espiga do perfilho podem ser selecionadas indiretamente para o aumento do rendimento de grãos nas diferentes condições de semeadura nos meses de maio, junho e julho no sul do Brasil.

Os caracteres impureza, número de perfilhos produtivos, número de perfilhos produtivos na fase vegetativa, peso hectolitro, população de plantas apresentaram diferenças nas interrelações de acordo com os ambientes, sendo apenas recomendados em condições específicas e de rígido controle das condições ambientais.

5.6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES GONÇALVES, J.L. DE; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVES, B.M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BURIN, C.; TOEBE, M. Correlações Canônicas entre Caracteres Agronômicos e Nutricionais Proteicos e Energéticos em Genótipos de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, p.171–185, 2016. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v15n2p171-185.

ASSENS, S.; EWERT, F.; MARTRE, P.; RÖTTER, R.P.; LOBELL, D.B.; CAMMARANO, D.; KIMBALL, B.A.; OTTMAN, M.J.; WALL, G.W.; WHITE, J.W.; REYNOLDS, M.P.; ALDERMAN, P.D.; PRASAD, P.V.V.; AGGARWAL, P.K.; ANOTHAI, J.; BASSO, B.; BIERNATH, C.; CHALLINOR, A.J.; SANCTIS, G. DE; DOLTRA, J.; FERERES, E.; GARCIA-VILA, M.; GAYLER, S.; HOOGENBOOM, G.; HUNT, L.A.; IZAURRALDE, R.C.; JABLOUN, M.; JONES, C.D.; KERSEBAUM, K.C.; KOEHLER, A.K.; MÜLLER, C.; NARESH KUMAR, S.; NENDEL, C.; O'LEARY, G.; OLESEN, J.E.; PALOSUO, T.; PRIESACK, E.; EYSHI REZAEI, E.; RUANE, A.C.; SEMENOV, M.A.; SHCHERBAK, I.; STÖCKLE, C.; STRATONOVITCH, P.; STRECK, T.; SUPIT, I.; TAO, F.; THORBURN, P.J.; WAHA, K.; WANG, E.; WALLACH, D.; WOLF, J.; ZHAO, Z.; ZHU, Y. Rising temperatures

reduce global wheat production. **Nature Climate Change**, v.5, p.143–147, 2015. DOI: 10.1038/nclimate2470.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G.; WOLLMANN, C.A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciencia Rural**, v.43, p.390–396, 2013. DOI: 10.1590/S0103-84782013000300003.

BIOTRIGO. **Guia de Cultivares TBIO**. 31p. 2017.

BORCHERS, H.W. **pracma: Practical Numerical Math Functions**, 2021. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=pracma>>.

BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo: do plantio à colheita**. Editora UFV, 260p. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa n.º 3, de 15 de outubro de 2008. In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n.º 262/2015, de 22 de dezembro de 2015. In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF.

BUTTS, C.T. **yacca: Yet Another Canonical Correlation Analysis Package**, 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=yacca>>.

CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P.L.; SILVA, M.S. E.; CASTRO, R.L.; CARGNIN, A. Uso do germoplasma da Embrapa nos programas de melhoramento de trigo no Brasil. **Ciencia Rural**, v.44, p.57–63, 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782013005000144.

CARVALHO, I.R.; SOUZA, V.Q. DE; NARDINO, M.; FOLLMANN, D.N.; SCHMIDT, D.; BARETTA, D. Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes de produção em trigo de duplo propósito. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.50, p.690–697, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000800007.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v.7, p.1–89, 2021.

CORDEIRO, M.B.; DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L.; SEABRA JUNIOR, S.; SANTI, A.; FENNER, W. Aptidão agroclimática do trigo para as regiões de Rondonópolis, São José do Rio Claro, São Vicente e Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. **Revista Agroambiente Online**, v.9, p.96-101, 2015. DOI: 10.5327/Z1982-8470201500012177.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2º ed. Viçosa: Editora. UFV, 585p, 2012.

DIEL, M.I.; LÚCIO, A.D.; MICHALSKI LAMBRECHT, D.; PINHEIRO, M.V.M.; SARI, B.G.; OLIVOTO, T.; VALERA, O.V.S.; MELO, P.J. DE; TARTAGLIA, F. DE L.; TISCHLER, A.L.; SCHMIDT, D. Canonical correlations in agricultural research: Method of interpretation used leads to greater reliability of results. **International Journal for Innovation Education and Research**, v.8, p.171–181, 2020. DOI: 10.31686/ijer.vol8.iss7.2464.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Informações técnicas para Trigo e Triticale**. v.1, 229p, 2016.

FARAWAY, J. **faraway: Functions and Datasets for Books**, 2016. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=faraway>>.

FOLLMANN, D.N.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A.D.; SOUZA, V.Q. DE; CARAFFA, M.; WARTHA, C.A. Genetic progress in homogeneous regions of wheat cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.16, p.1-9, 2017. DOI: 10.4238/gmr16019517.

HAIR, J.J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados (6a. ed.)**, 689p, 2009.

HATFIELD, J.L.; DOLD, C. Agroclimatology and wheat production: Coping with climate change. **Frontiers in Plant Science**, v.9, p.1-5, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.00224.

MEZZOMO, H.C.; CASAGRANDE, C.R.; E SILVA, C.M.; BORÉM, A.; NARDINO, M. Association between physiological and agronomic traits and selection of tropical wheat. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.24, p.167-177, 2021. DOI: 10.1007/s12892-020-00069-y.

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

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D.C. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v.11, p.783-789, 2020. DOI: 10.1111/2041-210X.13384.

PEREIRA, E.M.; SILVA, F.M.; VAL, B.H.P.; PIZOLATO NETO, A.; MAURO, A.O.; MARTINS, C.C.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H. Canonical correlations between agronomic traits and seed physiological quality in segregating soybean populations. **Genetics and Molecular Research**, v.16, p.1-11, 2017. DOI: 10.4238/gmr16029547.

PRADHAN, G.P.; PRASAD, P.V.V.; FRITZ, A.K.; KIRKHAM, M.B.; GILL, B.S. Effects of drought and high temperature stress on synthetic hexaploid wheat. **Functional Plant Biology**, v.39, p.190-198, 2012. DOI: 10.1071/FP11245.

R CORE TEAM, 2019. **R: a language and environment for statistical computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acessado 5 abr. 2021.

SABA, J.; TAVAN, S.; QORBANIAN, Z.; SHADAN, E.; SHEKARI, F.; JABBARI, F. Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yield under terminal drought stress. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.20, p.1037-1048, 2018.

SOARES, G.F.; RIBEIRO, W.Q.; PEREIRA, L.F.; LIMA, C.A. DE; SOARES, D.D.S.; MULLER, O.; RASCHER, U.; RAMOS, M.L.G. Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency. **Scientia Agricola**, v.78, p.1-11, 2021. DOI: 10.1590/1678-992x-2019-0304.

USDA. **Grain and Feed Annual.** Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Grain and Feed Annual_Mexico City_Mexico_03-15-2021>.

VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F. DE; OLIVEIRA, A.C. DE; MACHADO, A.D.A.; BENIN, G.; SCHEEREN, P.L.; SOUZA, V.Q. DE; HARTWIG, I. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.43, p.319–326, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000300005.

Figura 1 - Temperaturas máxima e mínima diárias, em °C, das safras agrícolas 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c) e precipitação mensal, em mm (d).

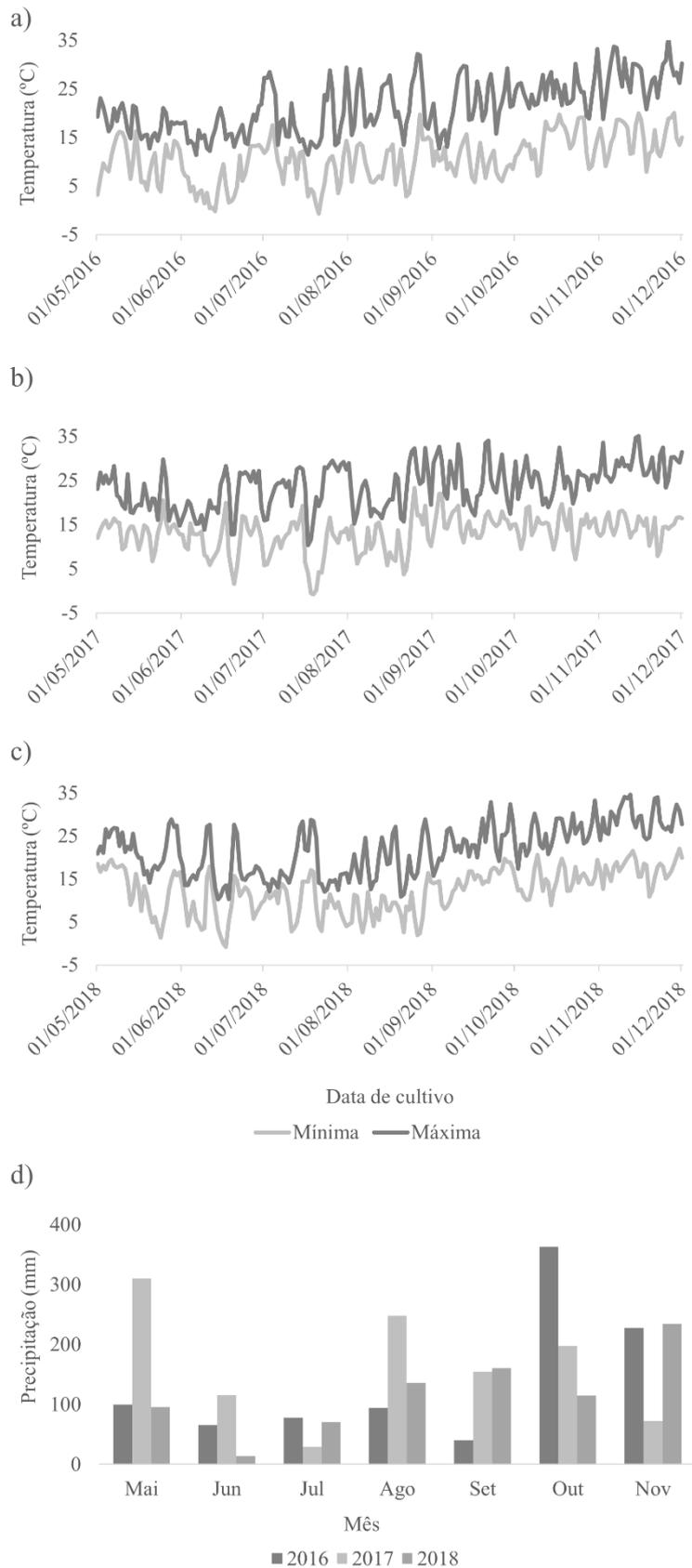


Tabela 1 - Correlações canônicas e pares canônicos entre os grupos morfológico e produtivo para os ambientes de semeaduras em maio (SS1), junho (SS2) e julho (SS3) de 2016, avaliados com quatro genótipos de trigo.

Caracteres ⁽¹⁾	SS1			SS2			SS3		
	Pares canônicos			Pares canônicos			Pares canônicos		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
	----- Grupo Morfológico -----								
AP	0.93	-0.29	-	0.33	-0.55	0.69	-0.09	-0.83	-
CEP	0.57	0.67	-	0.22	-0.84	-0.41	-0.97	-0.18	-
CEA	-	-	-	0.98	0.15	-0.12	-	-	-
	----- Grupo Produtivo -----								
IMP	-0.44	0.24	-	0.21	0.03	-0.26	-0.03	0.42	-
NEP	0.70	0.13	-	0.26	-0.87	-0.28	-0.64	-0.37	-
NEA	-0.13	0.16	-	0.98	0.16	-0.08	-	-	-
NGP	0.54	0.19	-	0.41	-0.48	-0.50	-0.64	-0.55	-
NGA	-	-	-	0.80	0.21	-0.12	0.15	-0.45	-
PFV	-0.16	-0.06	-	0.38	-0.18	0.14	0.13	0.01	-
PFP	-0.21	0.28	-	-	-	-	0.03	-0.42	-
MMG	-0.59	0.37	-	-0.32	-0.14	-0.82	0.05	0.50	-
PH	0.64	-0.40	-	-	-	-	-0.03	-0.31	-
PP	-	-	-	-	-	-	0.01	0.42	-
RG	0.30	0.25	-	0.18	-0.06	-0.21	-0.13	0.24	-
r	0.99	0.82	-	0.99	0.97	0.90	0.99	0.83	-
R ² canônico	0.98	0.68	-	0.99	0.94	0.81	0.99	0.69	-
p-valor	0.01*	0.28	-	0.00*	0.00*	0.02*	0.00*	0.41	-
IR1		0.86			0.93		0.84		
IR2		0.27			0.55		0.24		

⁽¹⁾ AP = Altura de plantas; CEP = Comprimento da espiga principal; CEA = Comprimento da espiga do perfilho; IMP = Impureza; NEP = Número de espiguetas na espiga principal; NEA = Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP = Número de grãos na espiga principal; NGA = Número de grãos na espiga do perfilho; PFV = Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP = Número de perfilhos produtivos; MMG = Massa de mil grãos; PH = Peso hectolitro; PP = População de plantas; RG = Rendimento de grãos; r = Correlação canônica; R² = Coeficiente de determinação; p-valor = (*) indica significância a 5% de probabilidade de erro. IR1 = Índice de redundância do grupo morfológico sobre o grupo produtivo. IR2 = Índice de redundância do grupo produtivo sobre o grupo morfológico.

Tabela 2 - Correlações canônicas e pares canônicos entre os grupos morfológico e produtivo para os ambientes de semeaduras em maio (SS4), junho (SS5) e julho (SS6) de 2017 avaliados com quatro genótipos de trigo.

Caracteres ⁽¹⁾	SS4			SS5			SS6		
	Pares canônicos			Pares canônicos			Pares canônicos		
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º
----- Grupo Morfológico -----									
AP	-	-	-	0.53	-0.62	-0.39	0.27	-0.18	0.58
CEP	0.58	0.40	-	0.37	-0.03	0.74	0.59	-0.59	-0.27
CEA	-0.53	0.42	-	0.57	0.70	0.19	0.91	0.25	-0.08
----- Grupo Produtivo -----									
IMP	0.34	-0.08	-	-0.20	0.14	0.27	-	-	-
NEP	-	-	-	0.32	-0.26	0.33	-	-	-
NEA	-0.42	0.11	-	0.14	0.37	0.24	0.88	0.22	-0.06
NGP	0.43	0.05	-	0.18	0.05	0.35	0.30	-0.52	-0.13
NGA	-0.05	0.06	-	0.66	0.45	-0.17	0.38	0.47	-0.02
PFV	-	-	-	0.08	0.06	-0.47	-0.55	0.28	-0.09
PFP	0.55	0.24	-	-	-	-	-	-	-
MMG	0.46	0.20	-	-0.43	0.22	0.36	0.37	-0.15	0.08
PH	-	-	-	-0.10	-0.31	-0.02	-0.20	-0.05	0.17
PP	0.29	-0.06	-	-0.36	-0.13	0.26	-0.02	0.33	-0.35
RG	0.03	-0.38	-	0.30	0.12	0.13	0.18	-0.03	0.11
r	0.89	0.52	-	0.96	0.90	0.79	0.95	0.90	0.61
R ² canônico	0.79	0.27	-	0.93	0.82	0.63	0.91	0.82	0.37
p-valor	0.37	0.88	-	0.19	0.35	0.47	0.03*	0.17	0.65
IR1		0.47			0.48			0.70	
IR2		0.16			0.25			0.30	

⁽¹⁾ AP = Altura de plantas; CEP = Comprimento da espiga principal; CEA = Comprimento da espiga do perfilho; IMP = Impureza; NEP = Número de espiguetas na espiga principal; NEA = Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP = Número de grãos na espiga principal; NGA = Número de grãos na espiga do perfilho; PFV = Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP = Número de perfilhos produtivos; MMG = Massa de mil grãos; PH = Peso hectolitro; PP = População de plantas; RG = Rendimento de grãos; r = Correlação canônica; R² = Coeficiente de determinação; p-valor = (*) indica significância a 5% de probabilidade de erro. IR1 = Índice de redundância do grupo morfológico sobre o grupo produtivo. IR2 = Índice de redundância do grupo produtivo sobre o grupo morfológico.

Tabela 3 - Correlações canônicas e pares canônicos entre os grupos morfológico e produtivo para os ambientes de semeaduras em maio (SS7), junho (SS8) e julho (SS9) de 2018 avaliados com quatro genótipos de trigo.

Caracteres ⁽¹⁾	SS7			SS8			SS9		
	Pares canônicos			Pares canônicos			Pares canônicos		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
	----- Grupo Morfológico -----								
AP	-	-	-	-0.07	0.77	-0.26	-0.34	-0.87	-
CEP	-0.44	-0.8	-	0.72	0.47	0.24	-	-	-
CEA	-0.99	0.09	-	0.97	0.01	-0.06	-1.00	0.05	-
	----- Grupo Produtivo -----								
IMP	0.25	-0.42	-	-	-	-	-	-	-
NEP	-	-	-	0.58	0.56	0.10	-0.37	-0.22	-
NEA	-0.98	0.08	-	0.93	0.00	-0.03	-0.96	0.04	-
NGP	-0.66	-0.53	-	0.11	0.58	0.05	0.00	-0.12	-
NGA	-	-	-	0.60	0.45	-0.20	-0.86	-0.13	-
PFV	-0.18	-0.21	-	0.24	-0.04	0.04	0.00	-0.51	-
PFP	-0.40	-0.01	-	0.64	0.19	-0.17	-0.62	-0.22	-
MMG	-0.08	0.02	-	0.13	-0.46	0.12	0.15	0.48	-
PH	0.04	0.04	-	-0.08	0.58	0.14	0.04	-0.59	-
PP	0.23	0.39	-	-0.38	-0.20	0.17	-0.21	0.05	-
RG	-0.08	0.40	-	-0.52	0.36	-0.06	-0.19	-0.14	-
r	0.99	0.89	-	0.97	0.83	0.64	0.99	0.92	-
R ² canônico	0.98	0.8	-	0.94	0.7	0.42	0.99	0.86	-
p-valor	0.00*	0.09	-	0.35	0.8	0.84	0.00*	0.08	-
IR1		0.91			0.8		0.93		
IR2		0.28			0.42		0.32		

⁽¹⁾ AP = Altura de plantas; CEP = Comprimento da espiga principal; CEA = Comprimento da espiga do perfilho; IMP = Impureza; NEP = Número de espiguetas na espiga principal; NEA = Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP = Número de grãos na espiga principal; NGA = Número de grãos na espiga do perfilho; PFV = Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP = Número de perfilhos produtivos; MMG = Massa de mil grãos; PH = Peso hectolitro; PP = População de plantas; RG = Rendimento de grãos; r = Correlação canônica; R² = Coeficiente de determinação; p-valor = (*) indica significância a 5% de probabilidade de erro. IR1 = Índice de redundância do grupo morfológico sobre o grupo produtivo. IR2 = Índice de redundância do grupo produtivo sobre o grupo morfológico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da aplicação de diferentes metodologias estatístico-experimentais voltadas a adaptabilidade, a estabilidade e do estudo das relações lineares entre caracteres de trigo, este estudo buscou evidenciar informações práticas que pudessem beneficiar não apenas pesquisadores, mas também produtores e técnicos a partir da compreensão e do comportamento de diferentes genótipos submetidos a diferentes épocas de semeadura. Para tanto, o uso de técnicas estatísticas multivariadas foi satisfatório nas condições ambientais estudadas permitindo evidenciar resultados de acordo com distintas realidades.

A predição do comportamento dos genótipos por meio de diferentes metodologias estatísticas para o estudo da adaptabilidade e estabilidade resultou em respostas distintas a depender da técnica empregada, demonstrando que há métodos que melhor explicam o desempenho e performance dos genótipos de acordo com as condições do estudo. Nesse âmbito, o uso de estatísticas WAASB e WAASBY em detrimento as demais estatísticas apresentou-se mais eficiente evidenciando diferenças em genótipos de mesma base genética de trigo não observada pelas demais metodologias AMMI e REML/BLUP.

Apesar do rendimento de grãos apresentar oscilações no rendimento de grãos de acordo com os genótipos e épocas de semeadura, a cultura do trigo apresenta potencialidade de expansão e aumento da produção a partir do uso de genótipos adaptados e estáveis, o que proporcionará maior rentabilidade ao sistema agrícola.

As condições ambientais adversas observadas de acordo com os anos evidenciam que os maiores rendimentos de grãos oscilam de acordo com os anos e diferentes épocas de semeadura. No entanto, a adaptabilidade foi observada para todos os genótipos TBIO Sinuelo, TBIO Sintonia, TBIO Sossego e TBIO Toruk. Já para a estabilidade, TBIO Sossego e TBIO Toruk foram superiores, enquanto que TBIO Sintonia apresentou o pior desempenho para esse quesito.

As relações lineares entre os caracteres pelas análises de correlação de Pearson, análise de trilha e correlações canônicas se modificam de acordo com os ambientes. Além da atuação ambiental, a exclusão dos pressupostos onde não atendidos pode ser uma das causas a essa variação entre as relações e interrelações observada entre os caracteres.

A seleção de caracteres via análise de causa e efeito mais indicadas visando a seleção direta e indireta foram número de grãos na espiga do perfilho e impurezas, ao passo que considerando apenas a seleção indireta peso hectolitro e massa de mil grãos são as mais recomendadas.

As correlações canônicas entre os grupos morfológico e produtivo evidenciaram que são dependentes na maioria dos ambientes, especialmente em semeaduras realizadas em julho. Os resultados demonstram que de acordo com o aumento diretamente proporcional dos caracteres morfológicos de trigo como altura, comprimento da espiga principal e perfilho têm se o aumento do rendimento de grãos nas diferentes condições de semeadura nos meses de maio, junho e julho no sul do Brasil.

Diferentes interrelações entre os grupos morfológico e produtivo foram observadas para os caracteres impureza, número de perfilhos produtivos, número de perfilhos produtivos na fase vegetativa, peso hectolitro e população de plantas, as quais oscilaram de acordo com os ambientes. Nesse caso, a sua associação e recomendação para seleção indireta apenas deve ser recomendada em condições específicas e com rígido controle das condições ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.; WOLLMANN, C.A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciencia Rural**, v. 43, p. 390–396, 2013. DOI: 10.1590/S0103-84782013000300003
- BAUMGRATZ, E.I.; MERA, C.M.P.; FIORIN, J.E.; CASTRO, N.L.M.; CASTRO, R. Produção de trigo A decisão por análise econômico-financeira. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, p. 8–21, 2017.
- BENIN, G.; PINNOW, C.; SILVA, C.L.; PAGLIOSA, E.S.; BECHE, E.; BORNHOFEN, E.; MUNARO, L.B.; SILVA, R.R. Análises biplot na avaliação de cultivares de trigo em diferentes níveis de manejo. **Bragantia**, v. 71, p. 28–36, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000100005>.
- BIOTRIGO. Informações Técnicas para Trigo e Triticale - Safra 2020. 13º Reunião da Comissão Brasileira de Trigo e Triticale. 1º Ed. Biotrigo Genética. 255 p. 2020.
- BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. Trigo: do plantio à colheita. 1º Ed. UFV, 260 p. 2015.
- BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; STORCK, L.; WOYANN, L.G.; DUARTE, T.; STOCO, M.G.; MARCHIORO, S.V. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Bragantia**, v. 76, p. 1–10, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.557>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa n.º 3, de 14 de outubro de 2008. In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. 15 de outubro de 2008a.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa n.º 2, de 09 de outubro de 2008. In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. 13 de outubro de 2008b.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n.º 07/2021, de 11 de janeiro de 2021. In: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF.
- CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P.L.; SILVA, M.S. E.; CASTRO, R.L. DE; CARGNIN, A. Uso do germoplasma da Embrapa nos programas de melhoramento de trigo no Brasil. **Ciencia Rural**, v. 44, p. 57–63, 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782013005000144.
- CAMARGO, C.E.O.; FELÍCIO, J.C.; BARROS, B.C.; FREITAS, J.G.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; CASTRO, J.L.; SABINO, J.C. Melhoramento do trigo: XV. Produtividade e outras características agronômicas de novas linhagens para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 46, p. 105–120, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051987000100011>.
- CAMPONOGARA, A.; GALLIO, E.; BORBA, W.F.; GEORGIN, J. O atual contexto da produção de trigo no Rio Grande do Sul. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, p. 246–257, 2015. DOI: 105902/2236117015437.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; ALVES, B.M.; BURIN, C.; SANTOS, G.O.; FACCO, G.; NEU, I.M.M. Relações lineares entre caracteres de aveia preta. *Ciencia Rural*, v. 45, p. 985–992, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140500>.

CARVALHO, I.R.; SOUZA, V.Q. DE; NARDINO, M.; FOLLMANN, D.N.; SCHMIDT, D.; BARETTA, D. Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes de produção em trigo de duplo propósito. ***Pesquisa Agropecuaria Brasileira***, v.50, p.690–697, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000800007.

CARVALHO, I.R.; NARDINO, M. FOLLMANN, D.N.; DEMARI, G.H. OLIVOTO, T.; PELEGRIN, A.J.; SZARESKI, V.J.; FERRARI, M.; ROSA, T.C.; KOCH, F.; AISENBERG, G.R.; PEDÓ, T.; AUMONDE, T.Z.; SOUZA, V.Q. Path analysis of grain yield associated characters in Brazilians wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). ***Australian Journal of Crop Science***, v. 11, p. 1406-1410, 2017. DOI: 10.21475/ajcs.17.11.11.pne484.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira. ***Acompanhamento da Safra Brasileira Grãos***, v. 6, n. 11, p. 1–104, 2019.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. ***Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira***, v.7, p.1–89, 2021.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2º ed. Viçosa: Editora. UFV, p. 585, 2012.

FAOSTAT. FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso 23 jun 2021.

FERREIRA, A.A.; HONGYU, K. Avaliação de rendimento de genótipo de milho em multiambientes. ***Biodiversidade***, v. 17, n. 3, p. 16–26, 2018.

FOLLMANN, D.N.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A.D.; SOUZA, V.Q. DE; CARAFFA, M.; WARTHA, C.A. Genetic progress in homogeneous regions of wheat cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil. ***Genetics and Molecular Research***, v.16, 2017. DOI: 10.4238/gmr16019517.

FONTANA, A.H.; JUNGES, D.C. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul. ***Revista Ceres***, v. 58, n. 1, p. 9-16, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000100002>.

FPS. Ensaio de Cultivares em Rede 2021. Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa. Disponível em: https://fundacaoprosementes.com.br/wp-content/themes/alpina-theme/assets/arq/Revista_ECR_Trigo_2021.pdf. Acessado 01 fev 2021.

GAUCH, H. G.; PIEPHO, H. P.; ANNICCHIARICO, P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. ***Crop Science***, v. 48, n. 3, p. 866–889, 2008. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0513>.

HOTELLING, H. Relations between two sets of variables. *Biometrika*. v.28, p.321- 377, 1936. DOI: <https://doi.org/10.2307/2333955>.

MARCHIORO, V.S.; FRANCO, F.A.; NORA, T.D.; OLIVEIRA, E.F.; SCHUSTER, I.; VIEIRA, E.S.N.; EVANGELISTA, A. CD 117: nova cultivar de trigo de ampla adaptação. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 424–426, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000400015>.

MOHAMED, M. Genotype by environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 7, p. 150–157, 2013. DOI: 10.5897/JPBCS2013.0390.

MOHAMMADI, R.; FARSHADFAR, E.; AMRI, A. Path analysis of genotype \times environment interactions in rainfed durum wheat. **Plant Production Science**, v. 19, p. 43–50, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128100>.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, Ltd., 1982.

NARDINO, M.; CARVALHO, I.R.; PELEGRIN, A.J.; FERRARI, M.; SZARESKI, V.J.; KONFLAZ, V.A.; SCHMIDT, D.; BARROS, W.S.; SOUZA, V.Q. REML/BLUP in analysis of pre-commercial simple maize hybrids. **International Journal of Current Research**, v.8, p. 37008-37013, 2016a.

NARDINO, M.; BARRETA, D.; CARVALHO, I.R.; OLIVOTO, T.; FOLLMANN, D.N.; SZARESKI, V.J.; FERRARI, M.; PELEGRIN, A.J.; KONFLAZ, V.A.; SOUZA, V.Q. Restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) for analyzing the agronomic performance of corn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 4864–4872, 2016b. DOI: 10.5897/AJAR2016.11691.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D.; SILVA, J.A.G.; MARCHIORO, V.S.; SOUZA, V.Q.; JOST, E. Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. **Agronomy Journal**, v. 3, p. 2949-2960, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D.C. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v.11, p.783–789, 2020. DOI: 10.1111/2041-210X.13384.

PIEPHO, H. P.; NAZIR, M.F.; QAMAR, M.; RATTU, A.; DIN, R.U.; HUSSAIR, M.; AHMAD, G.; SUBHAN, F.E.; AHMAD, J.; ABDULLAH; LAGHARI, K.B.; VISTRO, I.A.; KAKAR, M.F.; SIAL, M.A.; IMTIAZ, M. Stability analysis for a countrywide series of wheat trials in Pakistan. **Crop Science**, v. 56, p. 2465–2475, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.12.0743>.

QUATRIN, M. P.; OLIVO, C.J.; MEINERZ, G.R.; FONTANELI, R.S.; AGUIRRE, P.F.; SEIBT, D.C.; AIRES, J.F.; FALK, D.R.; SAUTER, C.P.; SILVA, A.R. Valor nutricional da forragem de genótipos de trigo de duplo propósito submetidos ao pastejo com vacas em lactação. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 39, p. 303–308, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9470>.

ROOSTAEI, M.; MOHAMMADI, R.; AMRI, A. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. **Crop Journal**, v. 2, p. 154–163, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.02.002>.

SILVA, C.L. BORNHOFEN, E.; TODESCHINI, M.H.; MILIOLI, A.S.; TREVIZAN, D.M.; BENIN, G. Seleção de genótipos de trigo para rendimento de grãos e qualidade de panificação em ensaios multiambientais. **Revista Ceres**, v. 62, p. 360–371, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562040005>.

SILVA, D. B. da; GUERRA, A. F.; REIN, T. A.; ANJOS, J.R.N.; ALVES, R.T.; RODRIGUES, G. C.; SILVA, I. A. C. Trigo para o abastecimento familiar: do plantio à mesa. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Planaltina: Embrapa-CPAC, 176 p. 1996.

SOUSA, C.N.A.; GOMES, E.P.; MOREIRA, J.C.S.; SARTORI, J.F.; DEL DUCA, L.J.A.; SCHEEREN, P.L.; SILVA, S.A.; LINHARES, W.I. Criação de cultivares de trigo no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo - Período de 1986 a 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 553–563, 1998.

SOUZA, C.N.A.; CAIERÃO, E. **Cultivares de Trigo indicadas para cultivo no Brasil e Instituições criadoras 1922 a 2014**. EMBRAPA TRIGO. 202p. 2014.

SZARESKI, V.J.; CARVALHO, I.R.; KEHL, K.; LEVIEN, A.M.; NARDINO, M.; DELLAGOSTIN, S.M.; DEMARI, G.H.; LAUTENCHLEGER, F.; VILLELA, F.A.; PEDÓ, T.; SOUZA, V.Q. DE; AUMONDE, T.Z. Adaptability and stability of wheat genotypes according to the phenotypic index of seed vigor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, p.727–735, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000600009.

TESTER, M.; LANGRIDGE, P. Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World. **Science**, 327, 818-821, 2010. DOI: 10.1126/science.1183700.

TODESCHINI, M.H.; MILIOLI, A.S.; TREVIZAN, D.M.; BORNHOFEN, E.; FINATTO, T.; STORCK, L.; BENIN, G. Eficiência de uso do Nitrogênio em cultivares modernas de trigo. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p. 351–361, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.385>.

VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; MACHADO, A.; 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. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000300005.

WRIGHT, S. Correlation and Causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, n. 7, p. 557–585, 1921.

YAN, W.; HOLLAND, J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, v. 171, n. 3, p. 355–369, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0030-5>.

APÊNDICE A – ANÁLISE DOS PRESSUPOSTOS DA NORMALIDADE DOS ERROS VIA TESTE DE SHAPIRO-WILK PARA CADA UM DOS CARACTERES EM CADA UM DOS AMBIENTES (SS).

Car ⁽¹⁾	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	SS9
AP	0.959 (0.666)	0.939 (0.337)	0.965 (0.769)	0.868 (0.025)	0.905 (0.096)	0.887 (0.051)	0.86 (0.019)	0.932 (0.264)	0.944 (0.411)
CEP	0.927 (0.229)	0.975 (0.921)	0.904 (0.093)	0.963 (0.733)	0.889 (0.054)	0.976 (0.931)	0.939 (0.337)	0.973 (0.893)	0.967 (0.802)
CEA	0.880 (0.034)	0.930 (0.245)	0.961 (0.695)	0.973 (0.884)	0.968 (0.807)	0.944 (0.403)	0.922 (0.188)	0.960 (0.665)	0.976 (0.925)
IMP	0.965 (0.767)	0.970 (0.844)	0.899 (0.079)	0.891 (0.058)	0.954 (0.56)	0.945 (0.414)	0.967 (0.804)	0.876 (0.034)	0.847 (0.012)
NEP	0.914 (0.138)	0.951 (0.507)	0.963 (0.719)	0.860 (0.019)	0.919 (0.164)	0.95 (0.489)	0.966 (0.775)	0.937 (0.321)	0.979 (0.960)
NEA	0.964 0.738	0.947 (0.445)	0.967 (0.797)	0.954 (0.565)	0.971 (0.855)	0.951 (0.515)	0.932 (0.267)	0.962 (0.713)	0.961 (0.695)
NGP	0.981 (0.972)	0.898 (0.077)	0.954 (0.559)	0.935 (0.299)	0.980 (0.966)	0.932 (0.268)	0.928 (0.233)	0.938 (0.325)	0.971 (0.869)
NGA	0.966 (0.780)	0.927 (0.222)	0.977 (0.939)	0.968 (0.817)	0.898 (0.076)	0.915 (0.140)	0.953 (0.544)	0.931 (0.258)	0.944 (0.403)
PFV	0.989 (0.998)	0.975 (0.921)	0.950 (0.494)	0.879 (0.037)	0.946 (0.430)	0.964 (0.738)	0.891 (0.058)	0.934 (0.290)	0.968 (0.811)
PFP	0.923 (0.188)	0.874 (0.032)	0.922 (0.181)	0.921 (0.178)	0.892 (0.060)	0.979 (0.961)	0.934 (0.285)	0.954 (0.568)	0.960 (0.663)
MMG	0.932 (0.268)	0.964 (0.744)	0.953 (0.595)	0.964 (0.750)	0.977 (0.939)	0.985 (0.993)	0.924 (0.200)	0.970 (0.842)	0.931 (0.256)
PH	0.950 (0.502)	0.875 (0.033)	0.975 (0.921)	0.928 (0.233)	0.921 (0.177)	0.971 (0.859)	0.958 (0.630)	0.968 (0.814)	0.969 (0.658)
PP	0.880 (0.039)	0.857 (0.017)	0.964 (0.749)	0.925 (0.209)	0.917 (0.152)	0.936 (0.307)	0.937 (0.324)	0.973 (0.893)	0.888 (0.052)
RG	0.952 (0.533)	0.953 (0.548)	0.963 (0.721)	0.962 (0.715)	0.852 (0.015)	0.979 (0.961)	0.938 (0.336)	0.971 (0.867)	0.956 (0.604)

⁽¹⁾ AP = Altura de plantas; CEP = Comprimento da espiga principal; CEA = Comprimento da espiga do perfilho; IMP = Impureza; NEP = Número de espiguetas na espiga principal; NEA = Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP = Número de grãos na espiga principal; NGA = Número de grãos na espiga do perfilho; PFV = Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP = Número de perfilhos produtivos; MMG = Massa de mil grãos; PH = Peso hectolitro; PP = População de plantas; RG = Rendimento de grãos; Valores calculados para o teste de Shapiro-Wilk. Valores entre parênteses maiores que 0.05 indicam que a normalidade dos erros foi atendida.

APÊNDICE B – ANÁLISE DOS PRESSUPOSTOS DA HOMOGENEIDADE DAS VARIÂNCIAS VIA TESTE DE LEVENE PARA CADA UM DOS CARACTERES EM CADA UM DOS AMBIENTES (SS).

Car ⁽¹⁾	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	SS9
AP	0.655 (0.595)	1.583 (0.255)	1.534 (0.256)	0.307 (0.819)	0.294 (0.828)	0.087 (0.965)	0.511 (0.682)	0.635 (0.606)	0.234 (0.870)
CEP	0.467 (0.710)	0.775 (0.529)	2.982 (0.073)	0.316 (0.813)	1.492 (0.266)	1.6 (0.241)	1.700 (0.219)	2.598 (0.100)	4.211 (0.029)
CEA	1.183 (0.357)	0.224 (0.877)	4503 (0.024)	0.615 (0.618)	0.016 (0.997)	3.309 (0.057)	3.211 (0.061)	1.08 (0.392)	0.16 (0.920)
IMP	1.313 (0.315)	0.459 (0.715)	0.569 (0.645)	2.773 (0.087)	0.263 (0.850)	6.785 (0.000)	1.666 (0.226)	0.705 (0.566)	1.004 (0.424)
NEP	1.650 (0.230)	0.982 (0.433)	0.306 (0.820)	0.144 (0.913)	2.029 (0.163)	3.891 (0.037)	4.549 (0.023)	0.303 (0.822)	1.615 (0.237)
NEA	1.437 (0.280)	0.361 (0.781)	3.617 (0.045)	0.552 (0.656)	3.245 (0.060)	2.563 (0.103)	2.435 (0.115)	2.472 (0.111)	0.182 (0.906)
NGP	0.430 (0.735)	0.973 (0.437)	0.861 (0.467)	2.742 (0.089)	1.343 (0.306)	0.166 (0.916)	0.610 (0.620)	0.448 (0.722)	2.611 (0.099)
NGA	3.222 (0.061)	2.157 (0.146)	2.554 (0.104)	1.687 (0.222)	1.602 (0.240)	0.862 (0.486)	1.975 (0.171)	0.271 (0.844)	0.429 (0.735)
PFV	1.813 (0.198)	1.000 (0.426)	0.204 (0.891)	0.694 (0.573)	0.625 (0.612)	0.835 (0.499)	0.135 (0.937)	1.765 (0.207)	0.771 (0.531)
PFP	0.513 (0.680)	1.719 (0.216)	2.246 (0.135)	1.618 (0.236)	3.632 (0.045)	4.148 (0.031)	2.079 (0.156)	0.158 (0.922)	2.454 (0.113)
MMG	0.728 (0.554)	1.591 (0.243)	2.757 (0.088)	0.825 (0.504)	1.123 (0.378)	0.426 (0.737)	0.746 (0.545)	3.188 (0.062)	0.635 (0.606)
PH	0.268 (0.846)	2.06 (0.159)	0.243 (0.864)	6.089 (0.000)	1.025 (0.416)	0.98 (0.434)	0.56 (0.651)	1.349 (0.304)	2.321 (0.126)
PP	0.094 (0.961)	0.448 (0.722)	2.197 (0.141)	0.265 (0.848)	0.43 (0.735)	0.933 (0.454)	1.126 (0.377)	0.387 (0.764)	1.439 (0.280)
RG	1084 (0.392)	0.901 (0.468)	0.652 (0.596)	1.545 (0.253)	0.355 (0.786)	2.210 (0.139)	0.308 (0.819)	0.316 (0.813)	1.232 (0.340)

⁽¹⁾ AP = Altura de plantas; CEP = Comprimento da espiga principal; CEA = Comprimento da espiga do perfilho; IMP = Impureza; NEP = Número de espiguetas na espiga principal; NEA = Número de espiguetas na espiga do perfilho; NGP = Número de grãos na espiga principal; NGA = Número de grãos na espiga do perfilho; PFV = Número de perfilhos na fase vegetativa; PFP = Número de perfilhos produtivos; MMG = Massa de mil grãos; PH = Peso hectolitro; PP = População de plantas; RG = Rendimento de grãos; Valores calculados para o teste de Levene. Valores entre parênteses maiores que 0.05 indicam que a homogeneidade das variâncias foi atendida.