

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

**Henrique Schaf Eggers**

**RELAÇÃO ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS NA CULTURA  
DE MILHO ASSOCIADO AO MANEJO DE FUNGICIDA**

Santa Maria, RS  
2022

**Henrique Schaf Eggers**

**RELAÇÃO ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS NA CULTURA DE MILHO  
ASSOCIADO AO MANEJO DE FUNGICIDA**

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

Orientador: Prof. Dr. Diego Nicolau Follmann

Santa Maria, RS  
2022

Eggers, Henrique  
Relação entre caracteres agronômicos na cultura de  
milho associado ao manejo de fungicida / Henrique  
Eggers.- 2022.  
39 p.; 30 cm

Orientador: Diego Nicolau Follmann  
Coorientadores: Alencar Junior Zanon, Volmir Sergio  
Marchioro  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2022

1. Zea mays L. 2. Análise de trilha 3. Manejo de  
doenças 4. Caracteres morfológicos 5. Correlações I.  
Nicolau Follmann, Diego II. Junior Zanon, Alencar III.  
Sergio Marchioro, Volmir IV. Título.

**Henrique Schaf Eggers**

**RELAÇÃO ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS NA CULTURA DE MILHO  
ASSOCIADO AO MANEJO DE FUNGICIDA**

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

**Aprovado em 01/ de julho de 2022:**

(Defesa de dissertação realizada por videoconferência)

---

**Diego Nicolau Follmann, Dr. (UFSM) – Videoconferência**  
(Presidente/Orientador)

---

**Maicon Nardino, Dr. (UFV) – Videoconferência**

---

**Alessandro Dal' Col Lucio, Dr. (UFSM) – Videoconferência**

Santa Maria, RS  
2022

## **DEDICATÓRIA**

À minha família, **Carlos Renan Eggers, Carmem Rosane Saldanha Schaf,**  
**Guilherme Schaf Eggers e Augusto Schaf Eggers.**

Á minha noiva, **Jordana Soares Costa.**

**Dedico este trabalho!**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela vida, saúde e força para superar os desafios, por ouvir e atender as minhas orações e por sempre colocar pessoas maravilhosas em meu caminho.

Aos meus pais, Carlos e Carmem, que sempre me apoiaram em todas as etapas da minha vida, pelo exemplo de dignidade, força de vontade e carinho; pelas palavras de apoio e pelos abraços. Muito obrigada por tudo!

Aos meus irmãos, Guilherme e Augusto, pelo carinho e amizade.

Aos amigos Felipe e Guilherme que nunca mediram esforços e sempre estiveram comigo nessa caminhada, muito obrigado pelas horas de conversas, boas risadas ou simplesmente, pelas palavras de incentivo que foram de extrema importância nesse processo de construção pessoal e profissional.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade e estrutura para realização do curso de mestrado.

Ao meu orientador, Diego Nicolau Follmann, pela orientação, ensinamentos e pela preocupação com minha evolução e formação profissional.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos ensinamentos para meu aperfeiçoamento.

Aos amigos e colegas do setor de experimentação agrícola, que me auxiliaram na condução e avaliação dos experimentos a campo.

E a todos os demais familiares, amigos, professores que de alguma maneira contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

**Muito obrigado!**

## RESUMO

### RELAÇÃO ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS NA CULTURA DE MILHO ASSOCIADO AO MANEJO DE FUNGICIDA

AUTOR: Henrique Schaf Eggers

ORIENTADOR: Prof. Dr. Diego Nicolau Follmann

As relações lineares auxiliam na seleção de caracteres de interesse agrônomo e podem ser úteis em entender os fatores dentro do manejo agrônomo na cultura do milho, como ambiente de cultivo, época de semeadura e manejo fitossanitário com fungicidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar por meio de modelos biométricos, as relações existentes entre os componentes de produção e os caracteres morfológicos na cultura do milho associado ou não a utilização de fungicidas. Foram conduzidos quatorze experimentos em áreas de pesquisas localizadas em Santa Maria, São Vicente do Sul e Frederico Westphalen - RS. Avaliou-se seis híbridos de milho (AG 9025 PRO3, AS 1730 PRO 3, P 3016 VYHR, MG 300 PW, DKB 230 PRO3 e SYN MAXIMUS VIP3), com e sem aplicações de fungicidas, totalizando doze tratamentos. Durante o desenvolvimento da cultura foram avaliados caracteres morfológicos, fenológicos e a mensuração da massa de grãos. Para a avaliação das relações lineares, utilizou-se a metodologia de análise de trilha. Os referentes dados de cada ambiente foram analisados utilizando o aplicativo Microsoft Office Excel® e o software R com 5% de significância nos testes estatísticos. Identificou-se relações de causa e efeito entre os caracteres diâmetro de espiga, comprimento de grãos, comprimento de espiga, massa de mil grãos, percentagem de grãos deteriorados e ângulo foliar com relação direta e indireta com o aumento da produtividade de grãos. O uso de fungicidas proporcionou melhores condições para expressão de caracteres morfológicos de plantas de milho, influenciando diretamente na produtividade de grãos.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L.; Análise de trilha; Manejo de doenças; Caracteres morfológicos; Correlações.

## ABSTRACT

### RELATIONSHIP BETWEEN AGRONOMIC CHARACTERS IN CORN CROP ASSOCIATED WITH FUNGICIDE MANAGEMENT

AUTHOR: Henrique Schaf Eggers  
ADIVISOR: Prof. Dr. Diego Nicolau Follmann

Linear relationships help in the selection of characters of agronomic interest and can be useful in understanding the factors within the agronomic management of corn, such as cultivation environment, sowing time and phytosanitary management with fungicides. The objective of this work was to evaluate, through biometric models, the relationships between the production components and the morphological characters in the maize crop associated or not with the use of fungicides. Fourteen experiments were carried out in research areas located in Santa Maria, São Vicente do Sul and Frederico Westphalen - RS. Six corn hybrids (AG 9025 PRO3, AS 1730 PRO 3, P 3016 VYHR, MG 300 PW, DKB 230 PRO3 and SYN MAXIMUS VIP3) were evaluated, with and without fungicide applications, totaling twelve treatments. During the development of the culture, morphological and phenological characters and the measurement of grain mass were evaluated. For the evaluation of linear relationships, the path analysis methodology was used. The data referring to each environment were analyzed using the Microsoft Office Excel® application and the R software with 5% significance in the statistical tests. Cause and effect relationships were identified between the traits ear diameter, grain length, ear length, thousand-grain mass, percentage of deteriorated grains and leaf angle with a direct and indirect relationship with the increase in grain yield. The use of fungicides provided better conditions for the expression of morphological characters of maize plants, directly influencing productivity.

**Keywords:** *Zea mays* L.; Trail analysis; Disease management; Morphological characters; Correlations.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1** - Precipitação diária acumulada (colunas) e temperatura média (linhas) durante a condução dos experimentos em São Vicente do Sul - RS (A), Frederico Westphalen – RS (B) e Santa Maria -RS (C)..... 31
- FIGURA 2** - Distribuição de valores de produtividade média ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e da mediana de tratamentos sem aplicação de fungicidas (SF) e com aplicação de fungicidas (CF). ..... 322
- FIGURA 3** - Produtividade média dos experimentos dos tratamentos com e sem fungicidas da primeira época de cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), nos municípios de Santa Maria, Frederico Westphalen e São Vicente do Sul. .... 322
- FIGURA 4** - Produtividade média dos experimentos dos tratamentos com e sem fungicidas da segunda época de cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), nos municípios de Santa Maria, Frederico Westphalen e São Vicente do Sul ..... 333
- FIGURA 5** - Correlação linear de Pearson entre componentes de rendimento de milho, sem aplicação de fungicidas (diagonal superior) e com aplicação de fungicidas (diagonal inferior). PROD: produtividade; DE: diâmetro de espiga; CE: comprimento de espiga; AF: ângulo foliar; CG: comprimento de grão; PGD: percentual de grãos deteriorados; AIE: altura de inserção de espiga; DC: diâmetro do colmo; MMG: massa de mil grãos; NF: número de fileiras, coletadas de 336 amostras (quatorze experimentos) realizados nos municípios de Santa Maria, Frederico Westphalen e São Vicente do Sul. .... **Erro! Indicador não definido.**3
- FIGURA 6** – Correlação linear (linha vertical), estimativa dos efeitos diretos (diagonal) e efeito indiretos (linha horizontal) dos caracteres diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), ângulo foliar (AF), comprimento de grão (CG), percentual de grãos deteriorados (PGD), altura de inserção de espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), massa de mil grãos (MMG) e número de fileiras (NF) sobre a produtividade total de grãos, para tratamentos com utilização de fungicidas (A) e sem utilização de fungicidas (B) em 7 ambientes de cultivo (2020/2021). ..... 344

## SUMÁRIO

<b>1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>11</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3 HIPÓTESES.....	14
1.4 OBJETIVOS .....	14
<b>1.4.1 Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 CULTURA DO MILHO .....	14
2.2 ESTUDO DE CORRELAÇÕES .....	15
2.3 ANÁLISE DE TRILHA .....	16
2.4 PRESSUPOSTOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	17
<b>3 CAPÍTULO I – ANÁLISE DE TRILHA ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS NA CULTURA DE MILHO ASSOCIADO AO MANEJO DE FUNGICIDA.....</b>	<b>19</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	19
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
<b>3.2.1 Descrições dos espaços geográficos de estudo .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.2 Análise estatística.....</b>	<b>22</b>
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
3.4 CONCLUSÃO.....	27
3.5 REFERÊNCIAS .....	27
3.6 FIGURAS .....	31
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se consolidado como terceiro maior produtor de grãos de milho (*Zea mays* L.) com produção de 100,9 milhões de toneladas no ano de 2020 (IBGE, 2020). O Rio Grande do Sul (RS), apesar de reduções ocasionadas pela estiagem, se consolidou como o sexto maior produtor nacional, tendo uma produtividade média de 5,54 t ha<sup>-1</sup> na safra 2020/2021 (CONAB, 2022), mas com capacidade de aumento da produção de grãos de milho. A área de produção de milho no estado do Rio Grande do Sul vem reduzindo nos últimos anos, no entanto, a produção se mantém estável, devido a técnicas de manejo que potencializam aumento de produção vertical de grãos (CONAB, 2022)

No contexto histórico do Rio Grande do Sul, o desenvolvimento agrícola teve grande impulso pela introdução de culturas como o milho, principalmente no norte do estado (LEMOS et al., 2016), região que atualmente apresenta as maiores médias de produtividade da cultura. Esse resultado é atribuído a essa região pelo elevado volume de precipitações pluviométricas anuais, maiores altitudes, solos com melhor estrutura física e química, além de maior investimento em maquinários agrícolas, pesquisa e desenvolvimento (BATTISTI et al., 2012). Essas condições se diferem das observadas na região da depressão central do estado, em que há predominância de solos pouco profundos e de textura média, com produtividade média de grãos inferior quando comparada a região norte do Estado.

Os órgãos vegetais da cultura de milho sofrem com danos causados pela ocorrência de doenças, sendo uma das causas da redução de seu potencial produtivo. Esses danos são intensificados devido a utilização de técnicas de cultivo como a semeadura antecipada sob irrigação, semeadura de primeira e de segunda safra, que possibilitam maior período da cultura no campo, e conseqüentemente maior predisposição a doenças (KIMATI et al., 2005). Além desses problemas, ainda se destaca o monocultivo em grandes áreas agrícolas, promovendo maior quantidade de inóculo e condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de doenças e contribuindo para o aumento dos prejuízos na cultura, tornando-se indispensável o manejo das doenças para altas produtividades de grãos (FANCELI, A. L., 2013). De acordo com Cereda, M. P. e Sanches, L. (1983), além das percas de produtividade de grãos, a ação de microrganismos podem modificar a aparência, textura, odor, sabor etc. dos grãos. No entanto, ainda são observados cultivos de lavouras comerciais e estudos científicos em determinados ambientes sem a realização do manejo de fungicida na cultura de milho, principalmente em

regiões onde a pressão de doenças é menor, ou onde o foco é selecionar materiais com alta resistência genética às principais doenças, visto que, a alta variabilidade de fungos, podem superar a resistência genética das cultivares de uma safra agrícola para a outra.

Devido à dificuldade de operações de máquinas agrícolas em lavouras com plantas de elevada altura, existem trabalhos na literatura que constata a necessidade de se efetuar aplicações preventivas de fungicidas, possibilitando a diminuição de inóculo de patógenos virulentos e controle das principais doenças que acometem a cultura do milho (SILVA, R. R. et al., 2012). De acordo com Zanatta, P. (2013), ocorre redução da evolução de ferrugem comum, mancha foliar de diplodia e helmintosporiose, quando é realizado a aplicação preventivamente com fungicidas em associações, comparados com os tratamentos isolados e com a testemunha, independente do híbrido estudados, reforçando a importância de aplicações prévias com fungicidas.

Outro fator que deve ser identificado e levado em consideração para a caracterização fenotípica e potencial produtivo de cultivos agrícolas, além do manejo fitossanitário, é a época de semeadura (MEOTTI, G. V. et al., 2012), pois ela influencia na magnitude das correlações fenotípicas e genotípicas entre a produtividade de grãos e a maioria dos caracteres agronômicos (NOGUEIRA, A. P. O. et al., 2012).

Além da identificação de caracteres com relação a produtividade de grãos que auxiliam nos estudos para melhoria do manejo agronômico, a identificação de caracteres de interesse agronômico e o estudo das relações lineares entre esses caracteres também servem como suporte aos programas de melhoramento genético, tornando-os importantes para realização da seleção indireta (NARDINO, M. et al., 2016b; ALVES, B. M., 2015). Essa técnica que consiste basicamente na seleção de um caractere de fácil medição para ser associado a outro caractere de relevância agronômica (FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C., 1996). O estudo de caracteres correlacionados apresenta vantagens em relação a utilização da técnica de seleção direta, pois permite aos melhoristas resultados mais rápidos e com maior eficiência (HALLAUER, A. R., 2007).

Essa mesma atribuição também pode ser aplicada para a seleção de cultivares, pois devido ao grande número de cultivares registradas disponíveis no mercado para a cultura de milho, nem sempre é viável a avaliação da produtividade de grãos de todas as cultivares em todas as regiões. Da mesma forma, eventos como a falta de água e alta incidência de doenças, durante o período de enchimento de grãos, também podem vir a limitar os resultados de potencial produtivo, pois o caractere produtividade de grãos é uma característica complexa e expresso por um grande número de genes, visto que diferenças de ciclo e presença de falta de

umidade, nesse estágio de desenvolvimento tem relação direta com a produtividade de grãos. Neste sentido, estudar e indicar caracteres fenotípicos com associação a produtividade de grãos, para o posicionamento de cultivares são importantes e condicionam maior assertividade no posicionamento de cultivares, podendo ser utilizados como maneira complementar a avaliação da produtividade de grãos.

De acordo com Vian, A. L. et al., (2016), o potencial produtivo de milho está condicionado as características genotípicas e fenotípicas do cultivar, sendo possível avaliar alguns componentes de produção como a densidade de plantas por metro quadrado, número de espigas por plantas, comprimento de espigas, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira e massa do grão, que expliquem o resultado obtido após a colheita do cereal.

Uma ferramenta importante para análise conjunta desenvolvida por Wright, S. (1921 e 1923) é análise de trilha, que permite o estudo dos efeitos diretos e indiretos de diferentes variáveis independentes sobre uma variável dependente. Para sua utilização são realizadas estimativas por meio de equações de regressão, em que as variações são previamente padronizadas para que seja possível a identificação de genótipos responsivos à melhoria das características ambientais e de manejo em condições amplas ou específicas (CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. (2004); CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. (2006). Dessa forma, quando um conjunto de caracteres possui correlação entre si e influência no rendimento de grãos, pode-se deduzir que há inter-relação entre as variáveis (JÚNIOR, I. N. et al., 2018).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O uso da análise de trilha contribui para o melhor entendimento das relações entre caracteres agronômicos, e se torna importante para identificação das relações que contribuam para melhor expressão do potencial produtivo. Existe um grande número de trabalhos publicados com a cultura de milho na literatura nacional e internacional. No entanto, trabalho com cultivares modernas de milho lançadas nos últimos anos para as condições subtropicais do Brasil, considerando fatores como o manejo de fungicida (com e sem), associado a época de semeadura e ambientes de cultivo, possuem grande importância agrônoma, e não foram observados trabalhos semelhantes na literatura. Dessa forma torna-se de grande valor científico a realização deste estudo, suprimindo esta lacuna na literatura e trazendo embasamento científico para a aplicação da metodologia em diferentes condições de manejo e resultado sobre as relações observadas.

### 1.3 HIPÓTESES

Diante dos resultados deste projeto, há hipótese de que:

- Exista um efeito positivo do uso de fungicida sobre caracteres de interesse agrônômico, aumentando o potencial produtivo das cultivares em estudo.
- Há alteração positiva da relação entre caracteres com o aumento de produtividade de grãos na cultura de milho, em função da adoção do manejo fitossanitário.
- Existe a preponderância de um caráter de interesse comum entre as cultivares estudadas e que a seja maior a resposta da variável em função da associação, incrementando a produtividade de grãos.

### 1.4 OBJETIVOS

#### 1.4.1 Objetivo geral

Avaliar e descrever as relações existentes entre os componentes de produção e os caracteres morfológicos na cultura de milho associado ao uso de fungicidas em ambientes de cultivo de clima subtropical.

#### 1.4.2 Objetivos específicos

Relacionar a influência do uso de fungicidas com a produtividade, através da utilização das análises de trilha na cultura de milho;

Identificar caracteres com relação positiva com o aumento de produtividade de grãos na cultura de milho, em função do manejo adotado;

Entender as relações diretas e indiretas entre caracteres e a influência delas sobre a produtividade de grãos na cultura de milho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CULTURA DO MILHO

De acordo com Cruz J. C. et al. (2007), o potencial produtivo da cultura de milho ao longo das últimas décadas foi elevado devido ao aumento da população de plantas por área,

proporcionado por uso de cultivares de ciclo e estatura reduzida, com folhas mais eretas e em menor número. O número de plantas por área vai influenciar diretamente na incidência e na severidade das doenças, pois irá interferir na aeração e entrada da radiação solar no dossel da cultura, criando um microclima favorável à ação dos patógenos (SILVA R. R. et al., 2012).

Para o desenvolvimento das doenças sobre um hospedeiro deve haver condições de ambiente favorável, patógeno virulento e hospedeiro suscetível (BELLÉ; FONTANA, 2018). A interação patógeno-hospedeiro deve ser conhecida por ser fundamental para análise do risco de ocorrência de uma determinada doença em um sistema de plantio. Os fungos necrotróficos possuem capacidade de permanecer em restos culturais ou até mesmo na palhada em superfície do solo durante o período de pousio, tendo potencial de causar danos na cultura sucessora desde os estádios iniciais (MEDEIROS et al., 2017).

De acordo com Manfroi et al. (2016), doenças foliares que danificam o tecido vegetal se destacam em sistemas de plantio direto. Entre a infinidade de patógenos que provocam danos na cultura de milho, os principais causadores de doenças foliares são *Cercospora zea-maydis* (T. Daniels), *Exserohilum turcicum* (Pass.) Shoemaker., *Pantoea ananatis* e *Phaeosphaeria maydis* (P. Henn.) Rane e *Stenocarpella macrospora* (Earle) Sutton, conhecidos popularmente como cercosporiose, mancha de turcicum, mancha branca e mancha de macrospora, respectivamente (INDICAÇÕES TÉCNICAS MILHO, 2017). Destaca-se ainda os fungos *Puccinia sorghichw* e *Puccinia polissora* Underw, causadores da ferrugem comum e da ferrugem polysora, respectivamente (KIMATI et al., 2005) caracterizando-se como as principais doenças a nível estadual e nacional.

Grande redução do potencial produtivo da cultura de milho é consequência do ataque de fungos causadores de doenças. De acordo com Cunha et al. (2020), a época de semeadura influencia claramente na severidade de doenças foliares. Para amenizar esse problema, a realização do manejo de doenças deve envolver cultivares resistentes, medidas culturais e controle químico com fungicidas (GONÇALVES et al., 2012).

## 2.2 ESTUDO DE CORRELAÇÕES

O estudo das correlações possui grande importância para compreender a magnitude do desempenho de uma variável, e o quanto ela possui influência sobre outra, que seja de interesse do pesquisador (SILVA A. et al., 2016). Para a avaliação das relações lineares existentes entre os componentes de produção e os caracteres morfológicos das cultivares semeadas, existem inúmeras metodologias empregadas, sendo os modelos biométricos uma forma de compreender

essas associações (CARVALHO et al., 2015). Júnior, I. N. (2015), cita em seu trabalho que a análise de trilha vem sendo utilizada nos estudos de efeitos diretos e indiretos dos diferentes caracteres sobre uma variável básica.

Silva N. et al. (2016), realizou um trabalho com objetivo de verificar a existência de variabilidade e correlação entre caracteres agronômicos e morfológicos em populações sintéticas de milho para seleção indireta, utilizando da análise de trilha. Como resultado, concluiu que a seleção simultânea com base na matéria fresca e na matéria seca da raiz para ganhos na produtividade de grãos pode ser realizada, por apresentar correlação simples moderada e influenciar positivamente por vias indiretas.

Nardino, M. et al. (2016a), ao analisarem os coeficientes de correlação fenotípica, genética e de ambiente, cultivados em diferentes locais, percebem que houve predominância de efeitos não genéticos na correlação fenotípica para alguns pares de caracteres. No mesmo trabalho, ainda concluem que não há ganhos via seleção indireta dos caracteres avaliados com o rendimento de grãos no germoplasma estudado, demonstrando a importância da expansão desse estudo para outros genótipos e cultivares. De acordo com Júnior (2015), as folhas de milho estão diretamente relacionadas ao acúmulo de matéria seca nos grãos, e estritamente ligadas à produção da planta, o que demonstra a importância do estudo das correlações entre caracteres agronômicos e anatômicos.

### 2.3 ANÁLISE DE TRILHA

A análise de trilha é um método de análise simples de correlações desenvolvido por Wright S. (1921), em que atribui-se coeficientes de correlação entre caracteres em estudo, quantificando os efeitos diretos e indiretos com relação de causa e efeito de variáveis dependentes sobre uma variável resposta. O coeficiente é obtido por meio de equações de regressão, onde previamente ocorre uma padronização das variáveis (CRUZ C. D.; REGAZZI A. J., CARNEIRO P. C., 2004). Este tipo de análise permite desdobrar as correlações totais em efeitos diretos e indiretos, possibilitando a compreensão das associações dos caracteres explicativos, além de revelar a amplitude e sentidos das associações (CARVALHO et al., 2015).

De acordo com Souza, T. V. (2013), para desenvolver a análise de trilha é preciso realizar duas etapas, primeiro estabelecendo a relação de causa e efeito entre as variáveis, por meio da construção de um diagrama para análise numérica, para exibir gráficos de interações das relações de causa e efeito do conjunto de variáveis e depois fazendo a formação de

conjuntos de coeficientes que indicam efeito direto e indireto de variáveis explicativas sobre uma variável resposta.

A confiabilidade da análise de trilha pode ser comprometida pelo efeito da multicolinearidade presente entre os caracteres integram o diagrama causal. Isso acontece por que a definição de qualquer efeito das variáveis reduz quando há o aumento da multicolinearidade. Ela pode ser reduzida pela eliminação de variáveis que mais contribuem para multicolinearidade. Para selecionar a variável a ser excluída, um procedimento que pode ser utilizado é o método de *Stepwise*, que distingue as variáveis que possuem maior influência no conjunto de saída, reduzindo o número de variáveis para análise (DUARTE, J. B., 2010).

Caso não seja desejado realizar a exclusão de uma variável, adota-se o método alternativo de análise de regressão em crista, reduzindo problemas ocasionados pela multicolinearidade (CRUZ C. D. et al., 2004). Com esse método obtém-se estimativas dos coeficientes de regressão utilizando uma versão alternativa para equações normais (CRUZ C. D.; CARNEIRO P. C., 2003).

A utilização da função `path_coeff()` do pacote `metan` de Olivoto T. e Lúcio A. D. (2020), facilita a visualização gráfica e identifica correlações diretas e indiretas entre caracteres agronômicos, tornando-se uma ferramenta importante para análise de trilha de um grande conjunto de dados.

## 2.4 PRESSUPOSTOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA

O teste correlações linear de Pearson é uma opção para estudar a correlação de um conjunto de variáveis. Com o objetivo de realizar a seleção indireta de caracteres com importância agronômica, vários estudos de análise de correlações podem ser realizados. Vesohoski et al. (2011), indicam que a seleção indireta para rendimento de grãos, a partir do número de grãos por espiga, levando em consideração a massa de mil grãos, é a melhor estratégia de seleção de genótipos superiores em cultivares de trigo, demonstrando a importância da metodologia da análise de trilha.

Para realização da análise de trilha, um pressuposto importante a ser avaliado é a multicolinearidade. Ela pode causar implicações nas estimativas de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão, causando singularidade da matriz de correlações da variância e covariância. Com a existência de multicolinearidade entre variáveis, o coeficiente de correlação será alto, e as variâncias e covariâncias para os estimadores dos mínimos quadrados dos coeficientes de regressão também serão altos. Quando há multicolinearidade entre as variáveis,

diferentes relações nos mesmos níveis, poderiam acarretar estimativas diferentes (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2006).

A interpretação do diagnóstico da multicolinearidade pode ser realizada de acordo com os critérios de Montgomery; Peck; Vining (2013), que utiliza o número de condições (NC) para considerar como multicolinearidade fraca quando  $NC < 100$ , multicolinearidade moderada a severa quando  $100 \leq NC \leq 1.000$  e, multicolinearidade severa quando  $NC > 1.000$ . O conjunto de dados para análises estatísticas podem ser organizados e analisados com auxílio do software Microsoft Office Excel® e software R, (CRUZ C. D., 2013).

### 3. CAPÍTULO I – ANÁLISE DE TRILHA ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS NA CULTURA DE MILHO ASSOCIADO AO MANEJO DE FUNGICIDA

#### Resumo

As relações lineares auxiliam na seleção de caracteres de interesse agrônomo e podem ser úteis para entender os fatores dentro do manejo agrônomo na cultura de milho, tais como: ambiente de cultivo, época de semeadura e manejo com fungicidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de correlação linear de Pearson e análise de trilha, as relações existentes entre os componentes de produção e caracteres morfológicos na cultura de milho associado ou não a utilização de fungicidas. Foram conduzidos experimentos em áreas de pesquisas localizadas em Santa Maria-RS, São Vicente do Sul-RS e Frederico Westphalen-RS. Foram avaliadas 2016 plantas de milho, correspondendo a oito repetições por parcelas em quatorze experimentos em três locais, com e sem aplicações de fungicidas e em duas épocas de semeadura. Durante o desenvolvimento da cultura avaliou-se caracteres morfológicos, fenológicos e a massa de grãos. Os dados foram analisados utilizando o software R, com 0.05 de probabilidade de erro. Os caracteres comprimento de grão, diâmetro de espiga, comprimento de espiga e massa de mil grãos apresentam efeito positivo com a produtividade de grãos nos tratamentos com a aplicação de fungicidas e os caracteres porcentagem de grãos deteriorados e ângulo foliar apresenta efeito direto negativo de sobre a produtividade de grãos.

**Palavras chaves:** *Zea mays* L.; Manejo de doenças; Correlação linear de Pearson;

#### 3.1 INTRODUÇÃO

A produção de milho (*Zea mays* L.) possui importante papel econômico no agronegócio brasileiro (Souza et al., 2018), consolidado como o terceiro maior produtor de grãos de milho, com produção anual de 100,9 milhões de toneladas no ano de 2020 (IBGE, 2020). Para tornar possível o aumento da produtividade de grãos, foi necessário a implementação de novas tecnologias e manejos de cultivo, proporcionando ao Brasil maior participação no mercado internacional.

Nos últimos anos, o surgimento de patógenos que causam doenças em plantas de milho vem proporcionando perdas significativas na produtividade de grãos. Este fato está associado a utilização de híbridos com suscetibilidade a doenças, condições climáticas e as práticas de manejo adotadas (EMBRAPA, 2013). Trabalho realizado por Souza, L. T. et. al. (2015), relata que a utilização de fungicidas no estádio V6, e outra aplicação no estádio de pré-pendoamento de plantas de milho, diminuíram a severidade de doenças, principalmente a cercosporiose. Esse manejo, associado a resistência genética, possui potencial de acréscimo da produção de milho no Brasil.

É necessário entender quais os caracteres das plantas mais influenciam na produção e qual a relação entre eles. De acordo com Romano, M. R. (2005), o ângulo foliar é um dos caracteres responsáveis por definir a arquitetura foliar de plantas de milho. Sangoi et al. (2002), relatam que a arquitetura foliar influencia diretamente na capacidade de interceptação solar pelo dossel da cultura, atributo indispensável para maior capacidade produtiva, e caracteres como o diâmetro de espiga, comprimento de espiga, e massa de mil grãos também possuem relação com a produtividade de grãos.

Para medir a força e intensidade da relação entre duas variáveis aleatórias, uma análise que pode ser aplicada é a estimativa do coeficiente de correlação linear de Pearson. Por meio dele é possível identificar a medida de associação entre duas variáveis com relações lineares, sendo que o coeficiente de correlação de Pearson pode variar entre -1 e 1 (FILHO; JUNIOR., 2009), classificada como correlação linear perfeita, positiva ou negativa, e nula quando  $\hat{r} = 0$  (LIRA, S. A. 2004). Sugerido por Callegari-Jacques S. M. (2003), a categorização para os valores do coeficiente da correlação estimado ( $\hat{r}$ ) é classificada em correlação linear fraca ( $0,00 < \hat{r} < 0,30$ ), correlação linear moderada ( $0,30 \leq \hat{r} < 0,60$ ), correlação linear forte ( $0,60 \leq \hat{r} < 0,90$ ) e correlação linear muito forte ( $0,90 \leq \hat{r} < 1,00$ ). A análise de trilha, proposta por Wright, S. (1921), pode ser utilizada para realizar a análise conjunta de dados, pois permite o estudo de efeitos diretos e indiretos de variáveis independentes sobre uma variável dependente. É uma metodologia multivariada que trata especificamente da relação entre um conjunto de variáveis. Nesta análise, a correlação linear de Pearson é desdobrada em efeitos diretos e indiretos, o que permite determinar uma relação de causa e efeito entre várias variáveis. Utilizando essa análise, também é possível realizar o estudo da influência indireta de caracteres que interferem na produtividade de grãos (NOGUEIRA P. A. G. et al., 2013; MEIER, C. et al., 2019; OLIVOTO T. et al., 2017).

A mensuração entre os estudos de correlação linear e análise de trilha associado ao manejo fungicida na cultura do milho são lacunas importantes que merecem ser estudadas pela pesquisa. Dessa forma, torna-se importante o estudo da relação entre esses manejos culturais e os e os caracteres de plantas de híbridos modernos. O objetivo desse trabalho é identificar as relações lineares entre as variáveis morfológicas de híbridos simples de milho, associadas ao uso de fungicida em ambientes subtropicais.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente estudo foram conduzidos 14 experimentos (sete com o uso de fungicida e sete sem a utilização de fungicida) em três municípios do estado do Rio Grande do Sul, Santa Maria (SM: 29° 43' 28" S, 53° 43' 41" W e altitude 95m), Frederico Westphalen (FW: 27° 23' 42" S, 53° 25' 43" W e Altitude: 480 m) e São Vicente do Sul (SVS:29° 42' 27" S, 54° 41' 34" W e Altitude: 129m), totalizando 14 cenários diferentes. Esse trabalho foi conduzido no ano agrícola 2020/2021 com duas épocas de semeadura, com sete experimentos semeados entre as datas de 20/08 e 20/09/2020 (época 1), e sete experimentos semeados entre as datas de 20/10 e 20/11/2020 (época 2).

### **3.2.1 Descrições dos espaços geográficos de estudo**

Em Santa Maria, os experimentos foram conduzidos no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, onde o clima é caracterizado como subtropical úmido Cfa, sem estação seca definida, e com precipitação média de 1.616 mm ao ano e solo característico do local é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico. No município de Frederico Westphalen os experimentos foram instalados na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, em que a classificação climática da região segundo Köppen é Cfa, caracterizado como subtropical úmido, com precipitação média anual de 1881 mm, com solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico. Em São Vicente do Sul realizou-se o estudo na área experimental do Instituto Federal Farroupilha, sendo que o clima da região é classificado de acordo com Köppen, do tipo Cfa, como subtropical úmido e com precipitação anual de 1.561 mm, e solo classificado como Argissolo Distrófico cinza-marrom (ALVARES C. A. et al., 2013; SANTOS, H. G. et al. 2018).

Os tratamentos foram constituídos por seis híbridos de milho, cultivados por produtores das regiões, com aplicação e sem a aplicação de fungicidas. A parcela principal foi formada pelos seis níveis do fator cultivar de milho (AG 9025 PRO3, AS 1730 PRO 3, MG 300 PW, de ciclo super-precoce, P 3016 VYHR e SYN MAXIMUS VIP3, de ciclo precoce, e DKB 230 PRO3 de ciclo hiper-precoce) e a subparcela pelos dois níveis do fator fungicidas (com e sem). Todas as cultivares possuem resistente moderada as principais doenças da cultura do milho.

Realizou-se a marcação em espaçamento entre linhas de 0,50m e adubação, após foram semeadas manualmente as cultivares, com densidade de semeadura ajustada de 70 mil plantas de milho por hectare. Os tratamentos com fungicidas foram realizados no período vegetativo de oito folhas verdadeiras (V8) e no pré-florescimento (VT), utilizando produtos químicos

compostos pelos princípios ativos Propiconazol, Picoxistrobina e Ciproconazol. A aplicação foi realizada utilizando uma máquina costal manual, com vazão de calda de 200 litros por hectare e seguindo as indicações técnicas para a cultura.

Cada unidade experimental foi composta por seis fileiras de semeadura e cinco metros de comprimento, com três repetições. As unidades experimentais foram adubadas com base nas recomendações do manual de adubação e calagem, para expectativa de 12 t ha<sup>-1</sup> de grãos (CQFS-RS/SC, 2016). O delineamento experimental utilizado foi de blocos completos ao acaso com três repetições em todos os locais e épocas de semeadura. Foi realizada a irrigação suplementar por meio de pivô central em São Vicente do Sul, e para os demais experimentos foi utilizado irrigação por aspersão em dois períodos críticos de limitação hídrica, com a finalidade de não comprometer o desenvolvimento das plantas.

### 3.2.2 Análise estatística

Nos experimentos avaliou-se oito plantas das subparcela dos seis níveis do fator cultivar de milho, nas três repetições, com e sem fungicidas, em duas épocas de semeadura e em todos ambientes de cultivo, totalizando 2016 avaliações, na qual mensurou-se os caracteres: altura de planta (AP, em cm), altura de inserção da espiga (AIE, em cm), ângulo foliar (AF, em graus), diâmetro do colmo (DC, em cm), florescimento - dias após a semeadura (FL), nota de empalhamento (NEM), número de espiga (NE), número de plantas (NP), comprimento da espiga em centímetro (CE, em cm), número de fileiras (NF), número de grãos por fileiras (NGF), diâmetro da espiga (DE, em cm), diâmetro do sabugo (DS, em cm), comprimento de grão (CG, em cm) e porcentagem de grãos deteriorados (PGD). Todas as espigas avaliadas compuseram um banco de 336 amostras, para a avaliação da massa de mil grãos (MMG em g, corrigido a 13% de umidade) e produtividade de grãos (PROD em kg ha<sup>-1</sup>, corrigido a 13% de umidade).

Para aumentar a precisão das avaliações as mensurações foram realizadas de maneira individualizada na mesma planta. A colheita das espigas foi realizada manualmente, quando os grãos atingiram 20% de umidade, sendo corrigido para o teor de umidade de 13% para determinação dos caracteres, pelo fator de correção descrita na seguinte fórmula:

$$Fc U\% = (100 - \text{umidade do grão}) / (100 - \text{umidade desejada})$$

A análise estatística foi realizada com auxílio do software Microsoft Office Excel® e software R. A correlações linear de Pearson foi realizada utilizando todas as variáveis em estudo utilizando os pacotes *hmisc* (HARRELL, F. E. 2022), e pacote *ggcorrplot* (KASSAMBARA,

A., 2019). Para aplicação da metodologia de estudo de análise de trilha utilizou-se a função *path\_coeff()* do pacote *metan* (OLIVOTO T.; LÚCIO A. D., 2020).

Realizou-se o teste de multicolinearidade das correlações de acordo com os critérios de Montgomery; Peck; Vining (2013), utilizando como indicador os autovalores da matriz de correlação e o número de condição (NC). O NC foi estimado pela divisão do maior autovalor pelo menor autovalor. Se a condição for menor do que 100, a multicolinearidade considerada é fraca, se estiver entre 100 e 1000, considera-se moderada a forte, e se for acima de 1000 é classificada como severa, segundo o critério de Montgomery; Peck; Vining (2013). Verificou-se o diagnóstico de multicolinearidade e de quanto da variância do coeficiente está “inflacionada”, por meio do teste de fatores de inflação da variância (VIF). Valores acima de 10 insinuam multicolinearidade (MOURÃO, G. B. et al. 2008; CAPP, E. e NIENOV, O. H. 2020). Após estudo da multicolinearidade, selecionou-se nove variáveis (DE, CE, AF, CG, PGD, AIE, DC, MMG e NF) para posterior análise de correlação de Pearson e análise de trilha, que foram analisadas em sete experimentos com o uso de fungicidas e sete experimentos sem o uso de fungicidas, conduzidos em três locais SM, FW e SVS.

Para apresentar a proporção de distribuição de valores médios de produção ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), utilizou-se o gráfico de dispersão boxplot. Toledo J. C. et al. (2013), afirma que utilizando o gráfico de dispersão é possível avaliar a relação entre duas variáveis, sendo os valores de uma variável dispostos na ordenada “Y” e valores da outra variável na abscissa “X” do gráfico. Quando os valores da variável “X” aumentam, os valores da variável “Y” podem aumentar ou diminuir, podendo existir ou não correlação entre elas (SALES, H. F. S. et al., 2018).

Durante o período de condução do experimento observou-se os dados meteorológicos nas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nos locais de cultivo.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação acumulada durante a condução dos experimentos foi de 445,2 mm para SM, 551,2 mm para SVS e 555,2 mm FW (Figura 1), que somada às irrigações complementares, proporcionaram adequado desenvolvimento da cultura do Milho. A temperatura do ar, manteve-se dentro de valores favoráveis e aceitáveis para um adequado desenvolvimento da cultura. De acordo com Matzenauer R. et al. (2002), a cultura do milho necessita aproximadamente de 412 a 648 mm de água durante seu ciclo, e restrições hídrica que

ocorrem na metade Sul e o Oeste do estado do Rio Grande do Sul podem comprometer a produção, o que não ocorreu devido ao uso de irrigação suplementar.

Por meio de gráfico de dispersão, pode-se avaliar visualmente os resultados dos tratamentos de um experimento em função de uma variável resposta (RODRIGUES R. L. et al., 2013). Dessa forma, os gráficos delimitam as dispersões dos valores de produtividade de grãos dos tratamentos com e sem fungicidas (Figura 2), de todas as plantas analisadas, além de indicar a mediana, utilizado para comparar a tendência central dos valores (COLVERO, D. A. et al., 2017; CARVALHO, M. J. et al. 2018). Juliatti, F. C. et. al. (2014), ao comparar a eficácia de fungicidas e seu efeito em produtividade na cultura do milho, relata que realizar o tratamento químico com produtos do grupo químico metoxi-acrilato e triazol, condicionam manutenção da produtividade de grãos, concordando com os resultados apresentados na figura 3 e 4, que demonstra maior produtividade em tratamentos com utilização de fungicidas, independente da época e local de cultivo.

De acordo com Duquia R. P. e Bastos J. L., (2006), as medidas de tendência central podem ser representadas pela mediana. No experimento em estudo, as medidas de tendência central indicam que a produtividade média dos tratamentos em que se realizou a aplicação de fungicidas possuem superioridade de 2,41% quando comparado aos tratamentos não submetidos ao manejo de fungicidas, inferindo que a utilização de fungicidas possibilitaram maior expressão da produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Essa diferença de produtividade não foi expressiva, no entanto é um indicativo da boa resistência genética dos híbridos que foram pesquisados, associado as condições ambientais, que não favoreceram a pressão de doenças no final do ciclo da cultura (PILETTI, G. J. et al 2014).

Venancio, B. J. et.al (2019), ao avaliar eficácia da utilização da piraclostrobina sobre a produção e bromatologia da forragem e da silagem de trigo e aveia, conclui que o uso de fungicidas inibidores extracelulares de quinona, possibilita maior produção, melhores características químicas e maior degradabilidade ruminal da matéria seca. Esse resultado pode estar associado a maior capacidade das plantas expressarem os caracteres responsáveis pela produção, além de menor perda de qualidade proporcionada pela proteção dos fungicidas. Com a mesma finalidade de estudar o efeito de fungicidas na produtividade de grãos, porém, em cultivares de sorgo, Anselmo, J. L., et. al., (2010) verifica que a aplicação do fungicida epoxiconazol + piraclostrobina é uma técnica efetiva na redução das perdas de produtividade de grãos na cultura de sorgo.

As correlações não significativas, em que o p-valor é maior que 0,05, não estão preenchidas. Quanto mais forte e positiva é a correlação, mais preenchido é o círculo de cor

azul, e a cor vermelha possui a mesma representatividade, porém com correlação negativa (Figura 5). Quando a correlação entre as variáveis é fraca ou nula, a cor do círculo é fraca e o preenchimento do círculo é menor.

Avaliando as associações lineares entre os caracteres estudados dos tratamentos sem aplicação de fungicidas, descritas na diagonal superior da figura, nota-se que as correlações são de menor magnitude, e que 16 associações não são consideradas significativas ( $p\text{-valor} > 0,05$ ). De acordo com a classificação de Callegari-Jacques S. M. (2003), o coeficiente de correlação de comprimento de grãos, diâmetro de espiga, e massa de mil grãos apresentaram associação positiva e forte com a produtividade de grãos (0,67, 0,70, 0,60, respectivamente). Resultado semelhante com correlações de alta magnitude das mesmas variáveis, acontece também nos tratamentos em que foram realizadas aplicações de fungicidas (0,75, 0,78, 0,61, respectivamente), no entanto com magnitude diferentes, indicando que o manejo com fungicidas pode interferir nas avaliações de relações lineares. Esse resultado está de acordo o trabalho de Barbosa, M. H. et al. (2016), que ao estudar os efeitos fenotípicos e dissimilaridade genética em milho, conclui que diâmetro da espiga, e massa de mil grãos são caracteres com grande resposta na produção de grãos. A associação linear de ângulo foliar apresenta relação negativa de magnitude moderada com produtividade de grãos, diâmetro de espiga e massa de mil grãos, ou seja, quanto menor o ângulo foliar, mais moderno é o híbrido e com maior capacidade de interceptação da radiação solar. Argenta, G.; Silva, P. R. F. da; Sangoi, L. et al. (2001), cita que a melhor adaptação dos híbridos ao adensamento contribuirá substancialmente para a melhoria de produtividade da cultura no sul do Brasil, sendo o ângulo de inserção de folhas com o colmo um dos elementos responsáveis pelo melhor arranjo de plantas.

Bernhard, B. J. e Below, F. E. (2020), relatam que caracteres relacionados à captura de luz solar como ângulo, largura, comprimento e área foliar, são importantes preditores da produtividade de plantas de milho. Percebe-se que nos tratamentos em que não foram realizadas aplicações de fungicidas, o ângulo foliar é de menor magnitude (-0,48), entretanto, nos tratamentos com fungicidas essa magnitude é maior (-0,70), o que pode estar associado a maior produtividade de grãos nas plantas que foram manejadas com fungicida. A partir dessa correlação, pode-se inferir que os híbridos modernos, associados ao manejo de fungicidas apresentam um menor ângulo foliar, ou seja, o posicionamento de cultivares híbridas com baixo ângulo foliar e com manejo fitossanitário adequado condicionam maior produtividade de grãos.

O caractere comprimento de grãos associado ao ângulo foliar apresentou destaque no manejo sem a aplicação de fungicidas (-0,27), quando comparada com os manejos em que se utilizou fungicidas (-0,56). De acordo com Bettio, C. S. et al. (2017), comprimento de grãos e

maior produtividade de milho são atingidas quando as plantas se desenvolvem com menor competição entre si pela utilização de luz solar, água e nutrientes. Essa afirmativa vai de encontro ao resultado obtido no trabalho e também com a evolução da genética da cultura do milho, que seguiu uma tendência de selecionar híbridos simples com menor ângulo foliar.

Ao estudar a as relações de causa e efeito entre as variáveis (Figura 6), o caráter AF foi o mais negativamente associado a produtividade de grãos nos tratamentos onde foram aplicados fungicidas (-0,70), indicando que maiores ângulos foliares se relacionam negativamente com a produtividade de grãos. Filho, A. C. et al. (2020), ao estudar a arquitetura de plantas e produtividade de grãos de milho, conclui que as folhas próximas a espiga do milho possuem menor ângulo foliar e maior área foliar, sendo essas características responsáveis por maior produtividade de grãos. Há um efeito direto negativo de PGD sobre a produtividade de grãos, com maior magnitude nos tratamentos sem aplicação de fungicidas (-0,47), estando de acordo com Costabile, L.T., (2017), ao concluir que grãos deteriorados diminuem a produtividade das lavouras de milho, além de comprometer a qualidade de grãos e de silagem.

O caráter CG, DE, CE e MMG apresentam efeito positivo com a produtividade de grãos nos tratamentos com a aplicação de fungicidas (A) (0,75, 0,78, 0,56, 0,61, respectivamente). Obteve-se resultado semelhante com mesma direção entre os tratamentos, porém com menor magnitude onde não foi aplicado fungicidas (B) (0,67, 0,70, 0,45, 0,60), demonstrando assim que o manejo com fungicidas interfere nas relações lineares. Portanto, é possível ter como resultado final, maiores produtividades de grãos em lavouras de milho ao utilizar o tratamento com fungicidas. Esses resultados coincidem com a conclusão de Bortolini, A. M. M. e Gheller, J. G. (2012), sobre a aplicação de fungicidas e efeitos na produtividade, onde afirmam que o emprego de fungicidas provoca incremento significativo de produtividade de milho. Desta forma, fica evidente que o manejo de fungicida aplicado a cultura do milho influencia nas relações entre as variáveis, alterando as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e, por consequência, os efeitos diretos e indiretos entre variáveis obtidos na análise de causa e efeito.

Portanto, híbridos modernos associados ao manejo com fungicidas, apresentam um menor ângulo foliar, neste sentido, o posicionamento de cultivares híbridas com baixo ângulo foliar e com manejo fitossanitário adequado condicionam maior produtividade de grãos.

Torna-se necessário a realização de novos estudos utilizando novos híbridos de milho, e também com diferentes manejos de produtos fungicidas, principalmente em anos com maior precipitação, que favoreça a incidência de doenças.

### 3.4 CONCLUSÃO

Os caracteres diâmetro de espiga, comprimento de grãos, comprimento de espiga e massa de mil grãos são caracteres que se relacionam com alta magnitude a produtividade de grãos.

Número de fileiras, diâmetro do colmo e altura de inserção da espiga possuem fraca magnitude de associação e relação de causa e efeito com a produtividade de grãos, sendo caracteres com menor importância quando se busca maior produtividade.

Ângulo foliar e porcentagem de grãos deteriorados possuem relação de causa e efeito negativa com a produtividade de grãos. Para maior produtividade de grãos em ambiente subtropical, pode-se recomendar híbridos com baixo ângulo foliar associado a ausência de grãos deteriorados

Portanto, existe diferença nas magnitudes das relações lineares em função do uso ou não de fungicidas na avaliação de híbridos simples de milho em ambientes subtropicais no sul do Brasil.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANSELMO, Jefferson L. *et al.* **Efeito de Fungicida na Produtividade em Cultivares de Sorgo**. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010. Disponível em: [http://www.abms.org.br/eventos\\_anteriores/cnms2010/trabalhos/0297.pdf](http://www.abms.org.br/eventos_anteriores/cnms2010/trabalhos/0297.pdf)

ARGENTA, Gilber; SILVA, Paulo Regis Ferreira da; SANGOI, Luís. L.; Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Cienc. Rural**. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000600027>

BARBOSA, Maurício Horbach *et al.* Efeitos fenotípicos e dissimilaridade genética em milho. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v. 10, n. 2, p. 39-44, 2016.

BERNHARD, Brad J.; BELOW, Frederick E. **Plant population and row spacing effects on corn: phenotypic traits of positive yield-responsive hybrids**. 2020. *Agro J* 112:1589–1600. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20206>

BETTIO, Cristhian Suttor *et al.* Produtividade do milho (*Zea mays* L.) com diferentes arranjos populacionais em linhas simples e duplas. **Acta Iguazú**, Cascavel, v. 6, n. 3, pág. 44-51, 2017.

BORTOLINI, Alexandre Moises Mazarro; GHELLER, Jorge Alberto. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 1, p. 109 -121, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v1i1.33755>

CAPP, Edison; NIENOV, Otto Henrique. **Bioestatística quantitativa aplicada**, 1 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2020

CARVALHO, Maria José; FERNANDES, José António; FREITAS, Adelaide. Determinação da mediana em contexto tabelar e gráfico. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 24, n. 3, p. 779-798, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320180030015>.

CALLEGARI-JACQUES, Sida M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

COLVERO, Diogo Appel *et al.* Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 931-941, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017159448

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2016.

COSTABILE, Lucio Tadeu. **Estudo sobre as perdas de grãos na colheita e pós colheita**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Paulista. 157 p. 2017.

DUQUIA, Rodrigo Pereira.; BASTOS, João Luiz Dornelles. Medidas de tendência central: onde a maior parte dos indivíduos se encontra. **Scientia Medica**. Porto Alegre: PUCRS, v. 16, n. 4, out./dez. 2006.

EMBRAPA. **Histórico e Perspectivas das Doenças na Cultura do Milho**. Circular técnica 193. ISSN 1679-1150. 2013.

FILHO, Alberto Cargnelutti *et al.* Genetic variability and linear relationships between plant architecture and maize grain yield. 2020 **Ciência Rural**, 50, 12 PP.

FILHO, Dalson Brito Figueiredo; JÚNIOR José Alexandre Silva. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Vol. 18, n. 1, 2009.

GRAFFITTI, Matheus Santos. **Desempenho da cultura de milho em função de arranjos espaciais**. 2020. Universidade de São Paulo - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Mestrado em ciências). 67 p., Piracicaba, 2020.

HARRELL, Frank E.; DUPONT, M.C. **Jr Package Hmisc**. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/Hmisc/Hmisc.pdf>. 2022. Acesso em: 17 mar. 2022

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2020. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 17 mar. 2022.

JULIATTI, Fernando Cezar *et al.* Eficácia da associação de fungicidas e antibióticos no manejo da mancha branca do milho e seu efeito na produtividade. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1622-1630, Nov./Dec. 2014

KASSAMBARA, Alboukadel. **ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matrix using 'ggplot2'**. R package version 0.1.3. 2019.

LIRA, Sachiko Araki. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MATZENAUER, Ronaldo et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105 p. (FEPAGRO. Boletim, 10).

MEIER, Carine et al. Performance agrônômica e correlação linear entre componentes de rendimento da soja em segunda safra. **Revista de Ciências Agrárias**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p. 933- 941, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.17995>

MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, Geoffrey G. **Introduction to linear regression analysis: Wiley series in probability and statistics**. 5 ed., 2013.

MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, Geoffrey G.. **Introduction to linear regression analysis**. John, Wiley and Sons, Inc., New York, 612p, 2006.

MOURÃO, Gerson Barreto *et al.* **Diagnóstico de multicolinearidade em modelos aditivo-dominante em uma população de bovinos de corte compostos (Bos taurus x Bos indicus)**. In: 45ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2008, Lavras, MG. Anais da 45ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2008.

NOGUEIRA, P. A. G. *et al.* **Correlação e análise de trilha de produtividade de grãos e seus componentes e caracteres de planta em milho**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DAS FACULDADES INTEGRADAS DE OURINHOS, 12, 2013, Ourinhos. Anais... Ourinhos: FIO/FEMM, 2013. p. 20.

OLIVOTO, Tiago; LÚCIO, Alessandro Dal'Col. metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, 2020. DOI:10.1111/2041-210X.13384

OLIVOTO, Tiago *et al.* Multicollinearity in Path Analysis: A Simple Method to Reduce Its Effects. **Agron. J.** 109:131–142, 2017.

PARANHOS, Ranulfo *et al.* Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o retorno. **Leviathan**, 2014. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2237-4485.lev.2014.132346>.

PILETTI, Giovani Jian *et al.* Reação de híbridos de milho à mancha-de-macrospora. **Summa Phytopathol.**, Botucatu, v. 40, n. 1, 2014.

RODRIGUES Rodrigo Lins; MEDEIROS, Francisco P. A. de; GOMES, Alex Sandro. **Modelo de Regressão Linear aplicado à previsão de desempenho de estudantes em**

**ambiente de aprendizagem.** XXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. 2013. DOI: 10.5753/CBIE.SBIE.2013.607

ROMANO, Marcelo Ribeiro. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento.** 2005, Universidade de São Paulo (Doutorado em Agronomia), 120 p., 2005

SANGOI, Luis *et al.* Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v.79, p.39-51, 2002.

SANTOS, Humberto Goncalves dos *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: **Embrapa**, 356 p., 2018.

SOUZA, Aguinaldo Eduardo *et al.* Estudo da produção do milho no Brasil. 2018. **South American Development Society Journal**, Vol.04, Nº. 11. Disponível em: <http://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/150/121>

SOUZA, Laís Teles de; PEREIRA, José Luiz de Andrade Resende; SOUZA, Tamires Teles de. Avaliação da produtividade de milho e controle de doenças foliares. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p. 31-37, set. 2015.

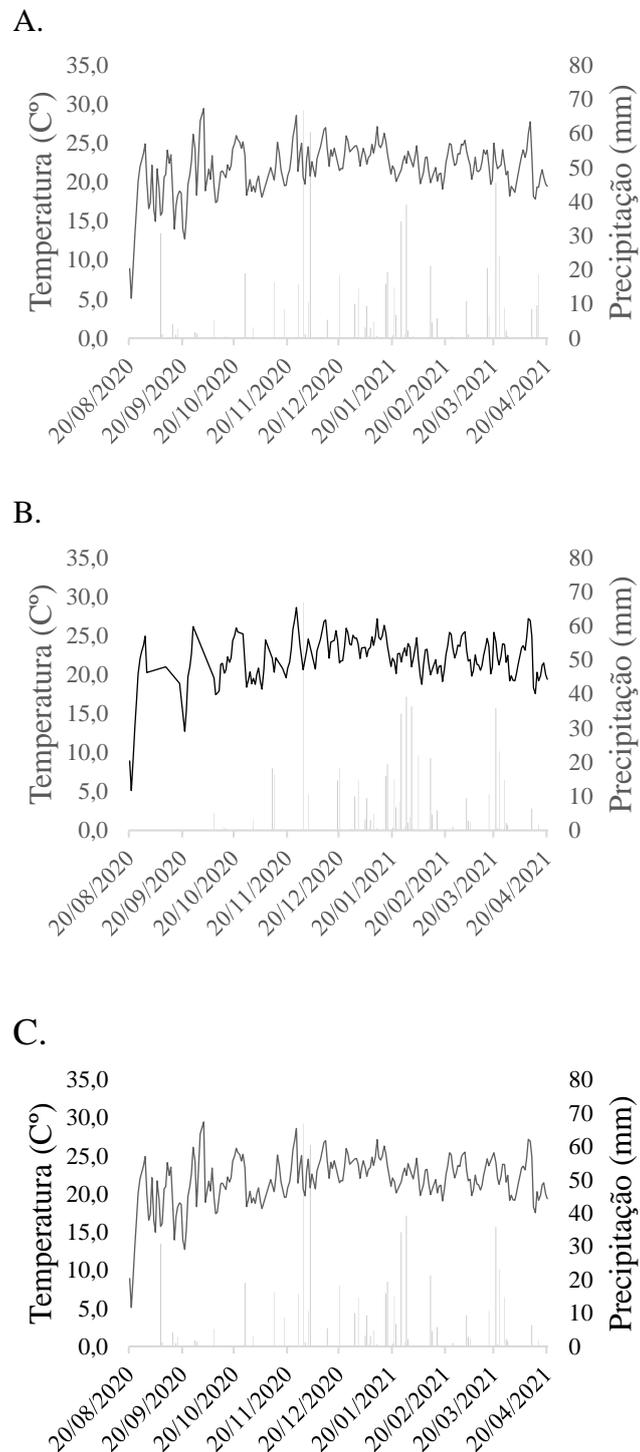
TOLEDO, J. C. *et al.* **Ferramentas básicas de suporte à gestão da qualidade Ferramentas básicas de suporte à gestão da qualidade.** In: Qualidade: Gestão e Métodos. 1ª ed., 2013.

VENANCIO, Bruno José *et al.* Efficacy of pyraclostrobin on the production and chemical composition of forage and silage of wheat [...]. **Ciências Agrárias**. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5Supl1p2439>.

SALES, Hemerson Fillipy Silva *et al.* **Algumas noções sobre análise de regressão.** Livro: Princípios básicos sobre a não-paramétrica. Ed. 1. Cap. 1 - 2018. Virtual Books.

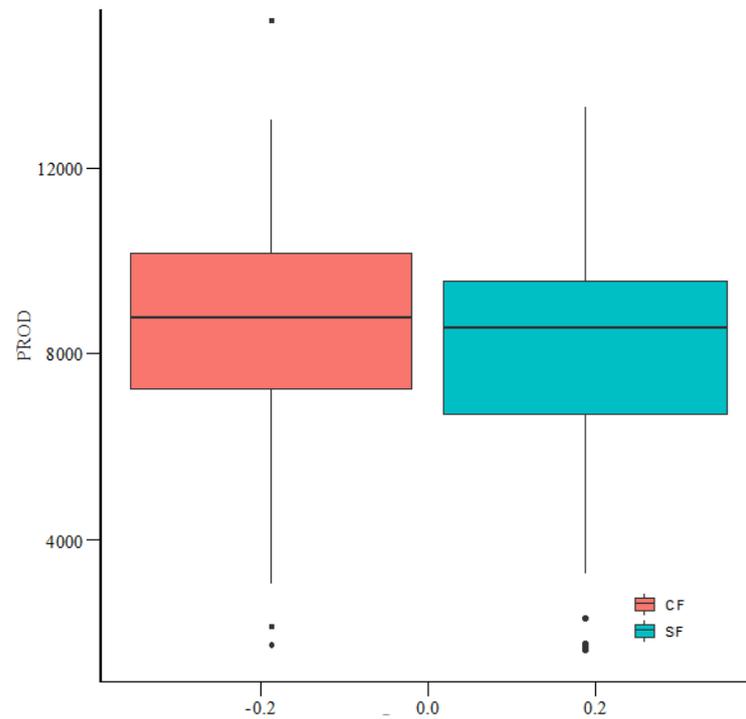
WRIGHT, Sewall. Correlation and causation. **Journal of agricultural Research**, Washington, v. 20, n. 7, p. 557 – 585, 1921.

## 3.6 FIGURAS

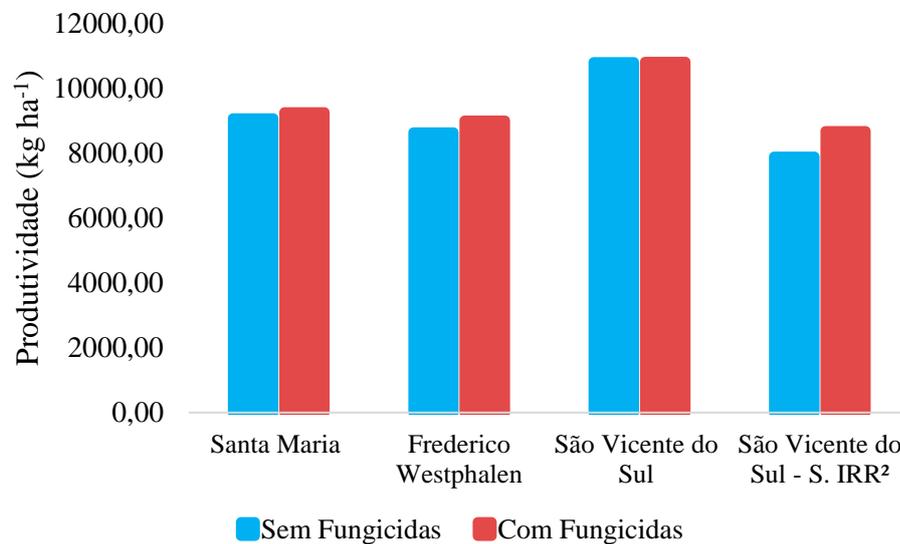


**FIGURA 1** - Precipitação diária acumulada (colunas) e temperatura média (linhas) durante a condução dos experimentos em São Vicente do Sul - RS (A), Frederico Westphalen – RS (B) e Santa Maria -RS (C).

\*Houve a interrupção da observação de dados meteorológicos de 26 dias, intercalados durante o cultivo do experimento, pois as estações meteorológicas estavam em manutenção.

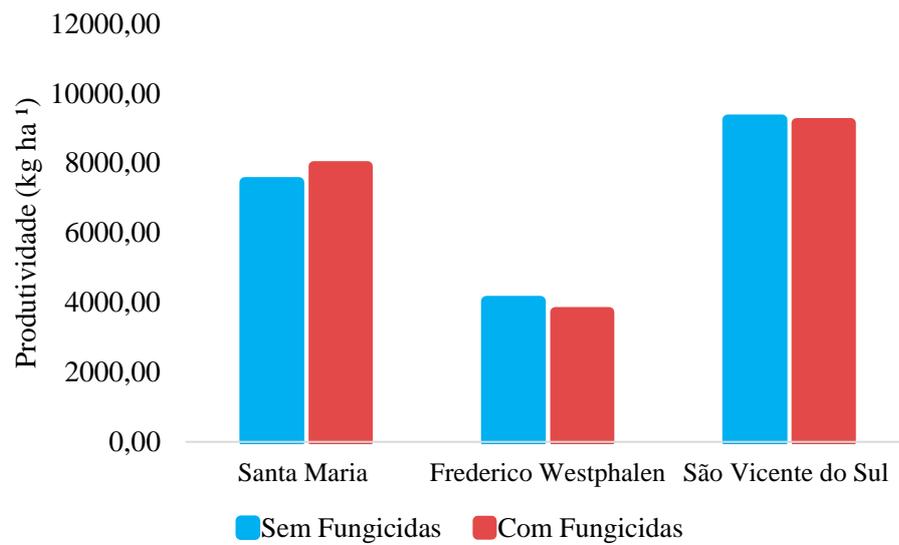


**FIGURA 1** - Distribuição de valores de produtividade média ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e da mediana de tratamentos sem aplicação de fungicidas (SF) e com aplicação de fungicidas (CF).

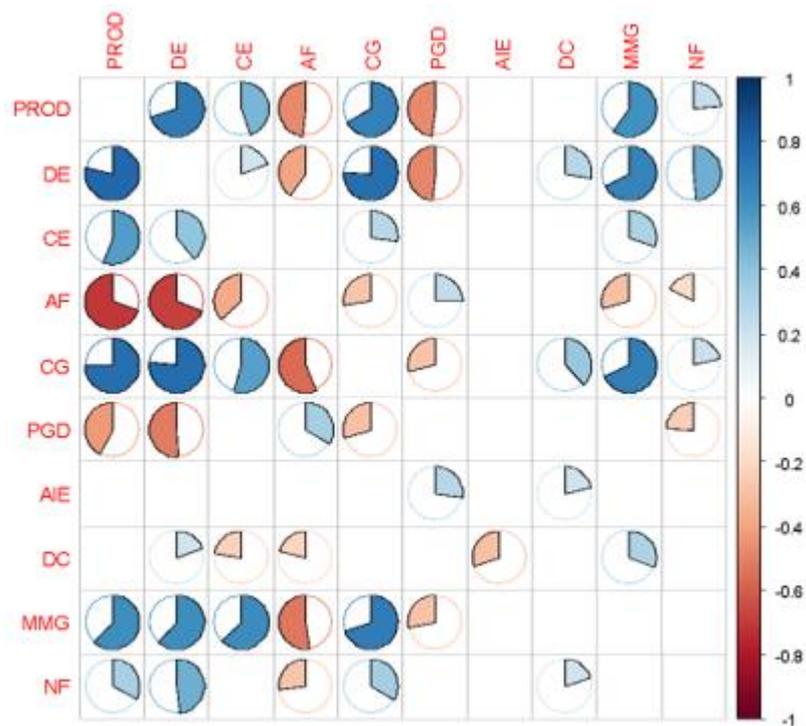


**FIGURA 3** - Produtividade média dos experimentos dos tratamentos com e sem fungicidas da primeira época de cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), nos municípios de Santa Maria, Frederico Westphalen e São Vicente do Sul.

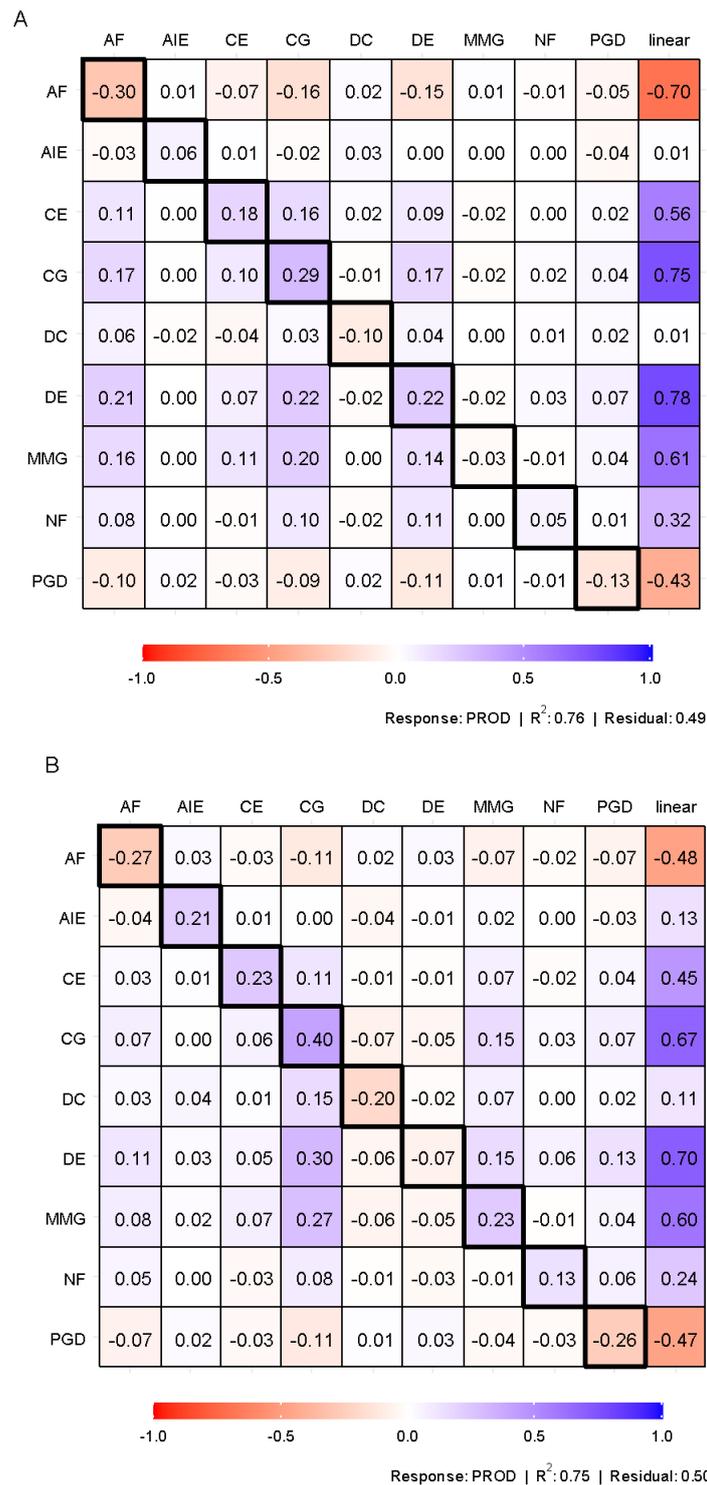
<sup>2</sup> S. IRR = Tratamento sem irrigação.



**FIGURA 2** - Produtividade média dos experimentos dos tratamentos com e sem fungicidas da segunda época de cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), nos municípios de Santa Maria, Frederico Westphalen e São Vicente do Sul.



**FIGURA 5** - Correlação linear de Pearson entre componentes de rendimento de milho, sem aplicação de fungicidas (diagonal superior) e com aplicação de fungicidas (diagonal inferior). PROD: produtividade; DE: diâmetro de espiga; CE: comprimento de espiga; AF: ângulo foliar; CG: comprimento de grão; PGD: percentual de grãos deteriorados; AIE: altura de inserção de espiga; DC: diâmetro do colmo; MMG: massa de mil grãos; NF: número de fileiras, coletadas de 336 amostras (quatorze experimentos) realizados nos municípios de Santa Maria, Frederico Westphalen e São Vicente do Sul. \*Foram apresentadas as correlações significativas (positivas = azul e negativas vermelho) de acordo com teste t ( $p < 0,05$ ).



**FIGURA 6** – Correlação linear (linha vertical), estimativa dos efeitos diretos (diagonal) e efeito indiretos (linha horizontal) dos caracteres diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), ângulo foliar (AF), comprimento de grão (CG), percentual de grãos deteriorados (PGD), altura de inserção de espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), massa de mil grãos (MMG) e número de fileiras (NF) sobre a produtividade total de grãos, para tratamentos com utilização de fungicidas (A) e sem utilização de fungicidas (B), coletadas de 336 amostras (quatorze experimentos) realizados nos municípios de Santa Maria, Frederico Westphalen e São Vicente do Sul (2020/2021).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em todos locais em estudo, a utilização de fungicidas proporcionou incremento produtivo no componente de rendimento da massa de grãos por espiga. O ângulo foliar possui grande influência no potencial produtivo de cultivares de milho, sendo consideradas modernas as cultivares que apresentam menor ângulo foliar entre as folhas e o colmo principal.

As relações lineares existentes entre os componentes de produção e os caracteres morfológicos de híbridos de milho em regiões produtoras do Rio Grande do Sul, indicam maior expressão do potencial produtivo de plantas da cultura quando realizado manejo com aplicações de fungicidas.

Comprimento de grãos, diâmetro de espigas e massa de mil grãos apresentaram maior efeito direto sobre a produção de grãos (PROD) independente da utilização ou não de fungicida.

O uso de fungicidas proporcionou maior expressão de caracteres morfológicos de plantas de milho, influenciando diretamente na produtividade de grãos.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, Bruna Mendonça. **Correlações canônicas entre caracteres fenológicos, morfológicos, produtivos e nutricionais de genótipos de milho**. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 98 p., 2015.
- BATTISTI, Rafael; SENTELHAS, Paulo César; PILAU, Felipe Gustavo. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2008. **Cienc. Rural**, vol.42 no.1 Santa Maria 2012.
- BELLÉ, Rafael Barbieri; FONTANA, Daniele Cristina. Patógenos de solo: principais doenças vasculares e radiculares e formas de controle. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.28; p. 779, 2018.
- CARVALHO, Ivan Ricardo *et al.* Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes de produção em trigo de duplo propósito. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.8, p.690-697, ago. 2015.
- CEREDA, M. P.; SANCHES, L. **Manual de armazenamento e de embalagem de produtos agropecuários**. Botucatu: Fundação de estudos e pesquisas agrícolas e florestais, 1983.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Milho: Série histórica – Safra 2020/2021**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/910-Milho>>. Acesso em: 09 de jul. de 2022.
- CRUZ, Cosme Damião; CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2003. v.2, 585 p.
- CRUZ, Cosme Damião. GENES – A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Maringá, V.35, n.3, p.271- 276, 2013.
- CRUZ, Cosme Damião; CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza. **Modelos biométricos relativos ao melhoramento genético**, 2.ed., Viçosa: UFV 2006. 586p.
- CRUZ, Cosme Damião; REGAZZI, Adair José; CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3ed. Viçosa, MG:UFV, 2004. 480 p.
- CRUZ, Cosme Damião; REGAZZI, Adair José; CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2012. 514p.

CRUZ, José Carlos *et al.* **Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade.** *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 60-73, 2007.

CUNHA, Breno Augusto da *et al.* Influência da época de semeadura na severidade de doenças foliares e na produtividade do milho safrinha. *Summa phytopathol.* vol.45 no.4. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/188038>.

DUARTE, João Batista. **Biometria em genética e melhoramento de plantas: tendências e inquietações.** In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS: A GENÉTICA QUANTITATIVA E DE POPULAÇÕES NO BRASIL, 14., 2010, Lavras. Anais. Universidade Federal de Lavras, 2010. p. 47-60.  
<http://www.sbai2013.ufc.br/pdfs/5928.pdf>

FALCONER, Douglas S.; MACKAY, Treudy F.C. **Introduction to quantitative genetics.** 4 ed. England: Longman, 1996. 463p.

FANCELI, A. L. **Milho: estratégias de manejo.** USP/ESALQ/LPV, 180p., 2013.

GONÇALVES, Maria Eugênia Mattar Pimenta *et al.* Viabilidade do controle químico de doenças foliares em híbridos de milho no plantio de safrinha. *Nucleus*, v. 9, n. 1, p. 58. 2012.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 17 dez. 2020.

JÚNIOR, Ivanildo Ramalho do Nascimento. **Relação entre caracteres agronômicos e anatômicos em milho.** 2015. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/143011/000865165.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

JÚNIOR, Ivanildo Nascimento; MÔRO, Gustavo V.; MÔRO, Fabíola V. Indirect selection of maize genotypes based on associations between root agronomic and anatomical characters. *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol.78, n.01, 2018.

KIMATI, H. *et al.* Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. *Ceres*, 4.ed. 663p, 2005.

LEMOS, Bruno de Oliveira; OLIVEIRA, Suzana Beatriz de; BANDEIRA, Pedro Silveira. Agropecuária e indústria no Rio Grande do Sul no período 1920-1980: algumas características territoriais. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, n. 28, p. 9-33, 2016.

MANFROI, Ernandes *et al.* Controle químico de doenças foliares e rendimento de grãos na cultura do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.15, n.2, p. 357-365, 2016.

MEDEIROS, Flávio Henrique Vasconcelos *et al.* **Novos sistemas de produção.** Núcleo de Estudos em Fitopatologia - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2017.

MEOTTI, Giovane Vanin *et al.* Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 47, n. 1, p. 14-21. 2012

MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, Geoffrey G. **Introduction to linear regression analysis: Wiley series in probability and statistics**. 5 ed., 2013.

NARDINO, Maicon *et al* (a). Correlações fenotípica, genética e de ambiente entre caracteres de milho híbrido da região sul do Brasil. **Rev. Bras. Biom.**, Lavras, v.34, n.3, p.379-394, 2016a.

NARDINO, Maicon *et al* (b). Association of secondary traits with yield in maize F1's. **Cienc. Rural** vol.46 no.5. 2016b.

NOGUEIRA, Ana Paula Oliveira *et al.* Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, vol. 28, n. 6, p. 877-888. 2012.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE PESQUISA DE MILHO, 62.; REUNIÃO TECNICA ANUAL DE PESQUISA DE SORGO. **Indicações Técnicas para o Cultivo de Milho e de Sorgo no Rio Grande do Sul**. Safras 2017/2018 e 2018/2019 – Embrapa. 45. IFRS, Sertão, 2017.

SANTOS, Humberto Goncalves dos *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: **Embrapa**, 356 p., 2018.

SILVA, Rafael Rodrigues *et al.* Influência da densidade de cultivo de dois genótipos de milho na severidade da mancha de cercospora e no rendimento de grãos na safrinha. **Ciências Agrárias**, n. 33, 1449-1454, 2012.

SILVA, Clemilton Alves da *et al.* Correlações fenotípicas e análise de trilha em caracteres morfoagronômicos de mamoeiro. **Revista Agroambiente On-line**, v. 10, n. 3, 2016.

SILVA, Tallyta Nayara *et al.* Correlation and path analysis of agronomic and morphological traits in maize. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 351-357, abr-jun, 2016.

SOUZA, Tadeu Vilela de. **Aspectos estatísticos de análise de trilha (path analysis) aplicados em experimentos agrícolas**. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.

VESOHOSKI, Fernando *et al.* Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista ceres**, v.58, n.3, p.337-341, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000300014>.

VIAN, André Luiz *et al.* Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, vol. 46, n. 3, 2016.

WRIGHT, Sewall. Correlation and causation. **Journal of agricultural Research**, Washington, v. 20, n. 7, p. 557 – 585, 1921.

WRIGHT, Sewall. The theory of path coefficients: a replay to Niles' criticism. **Genetics**, v.8, p.239-255, 1923.

ZANATTA, Priscila. **Controle preventivo de doenças foliares em híbridos comerciais de milho com fungicidas em espaçamento reduzido**. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, 64 p.PR, 2013.