

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN – RS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –  
AGRICULTURA E AMBIENTE

João Antônio Paraginski

**TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA  
AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM HÍBRIDOS E  
DENSIDADES DE SEMEADURA DE MILHO**

Frederico Westphalen, RS  
2023

João Antônio Paraginski

**TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE  
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM HÍBRIDOS E DENSIDADES DE SEMEADURA  
DE MILHO**

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

Orientador: Prof.º Dr. Marcos Toebe  
Coorientador: Prof.º Dr. Volmir Sergio Marchioro

Frederico Westphalen, RS  
2023

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Paraginski, João Antônio  
TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA  
AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM HÍBRIDOS E  
DENSIDADES DE SEMEADURA DE MILHO / João Antônio  
Paraginski.- 2023.  
67 p.; 30 cm

Orientador: Marcos Toebe  
Coorientador: Volmir Sergio Marchioro  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2023

1. Planejamento experimental 2. Tamanho de parcelas  
3. Número de repetições 4. Reamostragem 5. Zea mays I.  
Toebe, Marcos II. Marchioro, Volmir Sergio III. 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.

Declaro, JOÃO ANTÔNIO PARAGINSKI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**JOÃO ANTÔNIO PARAGINSKI**

**TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE  
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM HÍBRIDOS E DENSIDADES DE SEMEADURA  
DE MILHO**

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

**Aprovado em 07 de fevereiro de 2023:**

---

**Marcos Toebe, Dr. (UFSM)**  
**(Presidente/Orientador)**

---

**Volmir Sergio Marchioro, Dr. (UFSM)**  
**(Coorientador)**

---

**Alberto Cargnelutti Filho, Dr. (UFSM)**

---

**Fernando Machado Haesbaert, Dr. (UFT)**

Frederico Westphalen, RS  
2023

A Deus

Ao meu Amor, Mariana Poll Moraes

Aos meus pais, Elmar José Paraginski e Helena Maria Paraginski

Ao meu irmão, Pedro Elmar Paraginski

Dedico este trabalho!

## AGRADECIMENTOS

A Deus, sou grato pela dádiva da existência, pela proteção, amparo e perseverança em mim depositados, principalmente, em momentos de dificuldade.

A Universidade Federal de Santa Maria Campus Frederico Westphalen e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

A minha companheira de vida, Mariana Poll Moraes, por todo o amor, carinho e compreensão. Além de toda a paciência e incentivo durante os momentos de dificuldade, bem como, pelo alento e companheirismo que sempre encontrei em ti.

Aos meus pais, Elmar José Paraginski e Helena Maria Paraginski (*in memoriam*), por todo amor, carinho, compreensão e cuidado, além de todos os conselhos, lições e ensinamentos que me foram passados.

Ao meu irmão, Pedro Elmar Paraginski, pela amizade e companheirismo de sempre.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Toebe, por seus ensinamentos, conselhos e amizade, bem como, pela oportunidade de integrar seu grupo de pesquisa durante a graduação e o mestrado. Obrigado por oportunizar meu crescimento pessoal e profissional.

Ao amigo e colega, Rafael Rodrigues de Souza, pela parceria e auxílio prestado durante a realização deste trabalho, em especial, durante a realização das análises estatísticas.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Volmir Sergio Marchioro, pelas contribuições e sugestões de melhoria no trabalho.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Estatística e Experimentação Agronômica (GPEEA – Norte), pelo companheirismo e auxílio dedicados a realização deste estudo.

Aos funcionários da Secretária Integrada de Cursos de Pós-Graduação da UFSM-FW, Valdecir José dos Santos e Fernanda Buriol.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

A todos, fica aqui meu muito obrigado!

*“O segredo da genialidade é carregar  
o espírito da infância na maturidade.”  
(Thomas Huxley)*

## RESUMO

### TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM HÍBRIDOS E DENSIDADES DE SEMEADURA DE MILHO

AUTOR: João Antônio Paraginski

ORIENTADOR: Marcos Toebe

O milho (*Zea mays* L.) é o principal cereal cultivado no mundo, principalmente, devido à alta produtividade de grãos e versatilidade de uso em cadeias agroindustriais. Diante das mudanças climáticas globais e encarecimento dos insumos destinados à sua produção, diversos programas de melhoramento genético têm destinado recursos para a criação de híbridos com maior produtividade por planta, capacidade de resposta aos insumos agrícolas e tolerância a estresses bióticos e abióticos. Dessa forma, a produtividade de grãos da cultura tem sido frequentemente utilizada para discriminar genótipos e adequar sistemas de cultivo. Entretanto, a grande variabilidade de tamanho de parcelas e número de repetições utilizados em experimentos com esses fins podem vir a resultar numa disparidade de resultados, principalmente, devido à grande influência desses fatores sobre a precisão experimental. Nesse sentido, objetivou-se determinar o tamanho de parcela e o número de repetições adequados para determinar a produtividade de grãos em híbridos e densidades de semeadura de milho por meio de reamostragem com reposição em diversos cenários. O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao caso com dez repetições e utilizando parcelas de três metros de comprimento e cinco fileiras de semeadura espaçadas em 0,45 m. Foram utilizados treze híbridos comerciais de milho (AS 1555 PRO3, B2401 PWU, B2418 VYHR, B2612 PWU, BG 7061 YHR, DKB 235 PRO3, NS 45 VIP3, NS 73 VIP3, NS 80 VIP3, P2501, P3016 VYHR, P3565 PWU, 30F53 VYHR) sob as densidades de 66667 e 88889 plantas ha<sup>-1</sup>. Durante a colheita, as parcelas foram divididas em quinze metros lineares, sendo cada metro linear colhido individualmente para determinar a produtividade de grãos. Foram gerados 135 cenários de combinações entre tamanho de parcela (1 a 15 metros lineares) e número de repetições (2 a 10) para realização da análise estatística. Para cada cenário, realizou-se 3000 reamostragens com reposição e, em cada amostra, realizou-se a análise de variância da produtividade de grãos. Calculou-se a DMS do teste de Tukey, a 5% de probabilidade para efeitos principais de híbridos e densidades e dos desdobramentos das interações entre estes. Foram extraídos os valores mínimo, percentil 2,5, média, percentil 97,5 e máximo de cada estatística a partir das 3000 reamostras e calculado a amplitude do intervalo de confiança de 95% pela diferença entre os percentis 97,5 e 2,5. As 3000 reamostragens realizadas resultaram em pequena variação das médias da produtividade de grãos entre os 135 cenários, entretanto, reduções na amplitude do intervalo de confiança da produtividade de grãos foram obtidas com o aumento do número de repetições e tamanho de parcelas. Da mesma forma, o aumento de repetições e tamanho de parcelas promoveu reduções na DMS e respectivas AIC<sub>95%</sub>, sendo estas, mais expressivas diante da utilização de maiores números de repetições. A utilização de oito repetições e tamanho de parcela igual a quatro metros lineares (14,40 m<sup>2</sup>) possibilita avaliar a produtividade de grãos de híbridos em densidades de semeadura com alta precisão experimental.

**Palavras-chave:** Planejamento experimental. Reamostragem. *Zea mays*.

## ABSTRACT

### PLOT SIZE AND NUMBER OF REPETITIONS FOR EVALUATING THE GRAIN YIELD OF HYBRIDS AND SOWING DENSITIES OF CORN

AUTHOR: João Antônio Paraginski  
ADVISOR: Marcos Toebe

Corn (*Zea mays* L.) is the main cereal grown in the world, mainly due to its high grain productivity and versatility of use in agroindustrial chains. In the face of global climate change and the rising cost of inputs for its production, several breeding programs have allocated resources to the creation of hybrids with higher productivity per plant, responsiveness to agricultural inputs and tolerance to biotic and abiotic stresses. Thus, the grain yield of the crop has been frequently used to discriminate genotypes and to adapt cropping systems. However, the great variability of plot size and number of repetitions used in experiments with these purposes may result in a disparity of results, mainly due to the great influence of these factors on the experimental precision. In this sense, the objective was to determine the appropriate plot size and number of repetitions to determine the grain yield in hybrids of corn sowing densities through resampling with replacement in several scenarios. The experiment was conducted in randomized block design with ten repetitions and using plots of three meters long and five sowing lines spaced at 0,45 m. Thirteen commercial corn hybrids (AS 1555 PRO3, B2401 PWU, B2418 VYHR, B2612 PWU, BG 7061 YHR, DKB 235 PRO3, NS 45 VIP3, NS 73 VIP3, NS 80 VIP3, P2501, P3016 VYHR, P3565 PWU, 30F53 VYHR) were used under the densities of 66667 and 88889 plants ha<sup>-1</sup>. During harvest, plots were divided into fifteen linear meters, with each linear meter harvested individually to determine grain yield. We generated 135 scenarios of combinations between plot size (1 to 15 linear meters) and number of repetitions (2 to 10) to perform the statistical analysis. For each scenario, 3000 resamples with replacement were performed and, in each sample, the variance analysis of grain yield was performed. The DMS of the Tukey test was calculated, at 5% probability, for the main effects of hybrids and densities and the unfolding of the interactions between them. The minimum, percentile 2.5, mean, percentile 97.5 and maximum values of each statistic were extracted from the 3000 resamples and the range of the 95% confidence interval was calculated by the difference between the percentiles 97.5 and 2.5. The 3000 resamples performed resulted in little variation in grain yield means among the 135 scenarios, however, reductions in the width of the grain yield confidence interval were obtained with increasing number of repetitions and plot size. Likewise, the increase of repetitions and plot size promoted reductions in the DMS and respective AIC<sub>95%</sub>, which were more significant when using larger numbers of repetitions. The use of eight repetitions and a plot size equal to four linear meters (14.40 m<sup>2</sup>) allows the evaluation of the grain yield of hybrids at sowing densities with high experimental precision.

**Keywords:** Experimental Planning. Resampling. *Zea mays*.

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- FIGURA 1 – Ranking dos dez países com maior produção de milho durante o ano de 2022.....16
- FIGURA 2 – Séries históricas da área semeada, da produção e da produtividade média de milho no Brasil.....17
- FIGURA 3 – Séries históricas da área semeada, da produção e da produtividade média de milho na Região Sul do Brasil.....18

### CAPÍTULO I – PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE HÍBRIDOS DE MILHO SUBMETIDOS A DENSIDADES DE SEMEADURA NA REGIÃO DO MÉDIO ALTO URUGUAI DO RIO GRANDE DO SUL

- FIGURA 1 – Condições climáticas registradas durante o período experimental em Frederico Westphalen, RS, Brasil: a) Temperatura máxima, média e mínima do ar, em °C; b) Regime de chuvas, irrigação e acumulado, em mm.....29
- FIGURA 2 – Comparativo de produtividade de grãos de treze híbridos de milho sob duas densidades de semeadura e suas respectivas médias.....31

### CAPÍTULO II – TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE EM HÍBRIDOS E DENSIDADES DE SEMEADURA DE MILHO

- FIGURA 1 – Condições climáticas registradas durante o período experimental em Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.....41

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO I – PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE HÍBRIDOS DE MILHO SUBMETIDOS A DENSIDADES DE SEMEADURA NA REGIÃO DO MÉDIO ALTO URUGUAI DO RIO GRANDE DO SUL**

- TABELA 1 – Descrição dos híbridos de milho utilizados no experimento quanto ao ciclo de maturação e densidade de plantas recomendada para o período experimental.....28
- TABELA 2 – Resumo da análise de variância com fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e os quadrados médios (QM) da análise de variância com as respectivas significâncias, coeficiente de variação experimental (CV, em %) e médias da produtividade de grãos de treze híbridos de milho e duas densidades de semeadura, semeados durante a safra 2020/21 em Frederico Westphalen, RS, Brasil.....32

### **CAPÍTULO II – TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM HÍBRIDOS E DENSIDADES DE SEMEADURA DE MILHO**

- TABELA 1 – Área ocupada por tratamento (em metros lineares e m<sup>2</sup>) em cada um dos 135 cenários de combinações entre tamanhos de parcela e números de repetições, para avaliação da produtividade de grãos de treze híbridos de milho sob duas densidades de semeadura em Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.....42
- TABELA 2 – Códigos, estruturas de cálculo e referências das estatísticas de precisão utilizadas.....43
- TABELA 3 – Média geral de produtividade de grãos de treze híbridos de milho sob duas densidades de semeadura e amplitude do intervalo de confiança (AIC<sub>95%</sub>) em 135 cenários de combinações entre números de repetições e tamanhos de parcela.....45
- TABELA 4 – Diferença mínima significativa (DMS) para o fator principal híbridos de milho e respectivas amplitudes do intervalo de confiança (AIC<sub>95%</sub>) da DMS (em kg ha<sup>-1</sup>)

	da média de 3000 reamostras para a produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.....	48
TABELA 5	– Diferença mínima significativa (DMS) entre híbridos de milho em porcentagem da média geral de 3000 reamostras e amplitude do intervalo de confiança (AIC <sub>95%</sub> ) da DMS percentual da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.....	49
TABELA 6	– Diferença mínima significativa (DMS) entre densidades de semeadura e respectivas amplitudes do intervalo de confiança (AIC <sub>95%</sub> ) da DMS (em kg ha <sup>-1</sup> ) da média geral de 3000 reamostras da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.....	50
TABELA 7	– Diferença mínima significativa (DMS) entre densidades de semeadura em porcentagem da média de 3000 reamostras e amplitude do intervalo de confiança (AIC <sub>95%</sub> ) em porcentagem da própria DMS da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.....	51
TABELA 8	– Diferença mínima significativa (DMS) do desdobramento do fator híbridos de milho dentro do fator densidades de semeadura e respectivas amplitudes do intervalo de confiança (AIC <sub>95%</sub> ) da DMS (em kg ha <sup>-1</sup> ) da média de 3000 reamostras da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.....	52
TABELA 9	– Diferença mínima significativa (DMS) do desdobramento do fator híbridos de milho dentro do fator densidades de semeadura em porcentagem da média de 3000 reamostras e amplitude do intervalo de confiança (AIC <sub>95%</sub> ) da DMS percentual da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.....	53
TABELA 10	– Diferença mínima significativa (DMS) do desdobramento do fator densidades de semeadura dentro do fator híbridos de milho e respectivas amplitudes do intervalo de confiança (AIC <sub>95%</sub> ) da DMS (em kg ha <sup>-1</sup> ) da média de 3000 reamostras da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.....	54
TABELA 11	– Diferença mínima significativa (DMS) do desdobramento do fator densidades de semeadura dentro do fator híbridos de milho em porcentagem da média de 3000 reamostras e amplitude do intervalo de confiança (AIC <sub>95%</sub> ) da DMS percentual da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.....	55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	14
1.1	HIPÓTESES .....	15
1.2	OBJETIVO GERAL .....	15
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1	MILHO: IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E NUTRICIONAL .....	16
2.2	PLANEJAMENTO E CONTROLE DE QUALIDADE DE EXPERIMENTOS .....	19
2.3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL: TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES .....	21
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I – PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE HÍBRIDOS DE MILHO SUBMETIDOS A DENSIDADES DE SEMEADURA NA REGIÃO DO MÉDIO ALTO URUGUAI DO RIO GRANDE DO SUL</b> .....	24
3.1	RESUMO .....	24
3.2	ABSTRACT .....	25
3.3	INTRODUÇÃO .....	26
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
3.6	CONCLUSÃO .....	33
3.7	REFERÊNCIAS .....	33
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II – TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM HÍBRIDOS E DENSIDADES DE SEMEADURA DE MILHO</b> .....	37
4.1	RESUMO .....	37
4.2	ABSTRACT .....	38
4.3	INTRODUÇÃO .....	39
4.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	40
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.6	CONCLUSÃO .....	56
4.6	REFERÊNCIAS .....	57
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b> .....	62
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) é o principal cereal cultivado no mundo. Sua importância concentra-se em cadeias agroindustriais, principalmente, devido à grande versatilidade de uso de seus grãos, tanto na alimentação humana e animal, quanto na geração de energia (biocombustível etanol) (RANUM; PEÑA-ROSAS; GARCIA-CASAL, 2014; SZARESKI et al., 2018; ERENSTEIN et al., 2022).

Dentre os produtores mundiais da *commoditie*, destacam-se os Estados Unidos da América (EUA), a China e o Brasil, sendo que, durante a safra 2021/22 a produção destes foi superior a 753 milhões de toneladas de grãos (FAO, 2022; USDA, 2022), tendo sido o Brasil, responsável por pouco mais de 113 milhões de toneladas (CONAB, 2022). A produção nacional concentra-se na região Centro-Sul, principalmente, em virtude das condições climáticas favoráveis que permitem o encurtamento do ciclo produtivo da cultura, conjuntamente, a sua frequente utilização em sistemas de rotação de culturas e as facilidades logísticas da região.

Inúmeros híbridos de milho encontram-se disponíveis para cultivo no Brasil, no entanto, devido ao grande território agrícola do país, sua utilização é limitada à sua adaptabilidade quanto as condições edafoclimáticas das regiões produtoras. O potencial produtivo da cultura é dividido em três componentes genotípicos principais, ou seja, produtividade por planta, capacidade de resposta aos insumos agrícolas e tolerância a estresses bióticos e abióticos (TESTA; REYNERI; BLANDINO, 2016). Nessa perspectiva, os avanços genéticos e agronômicos da cultura culminaram para a criação de híbridos de milho mais eficientes quanto ao uso de insumos agrícolas e com maior tolerância à estresses bióticos e abióticos (CIAMPITTI; VYN, 2012; 2014; HAARHOFF; SWANEPOEL, 2018; SCHWALBERT et al., 2018; SZARESKI et al., 2018).

Dessa forma, à medida que a tolerância dos híbridos aumentou, a utilização de maiores densidades de plantas tornou-se comum, sendo esta, frequentemente relatada como um dos quatro principais componentes produtivos da cultura (ou seja, número de grãos e de espigas por hectare, massa de grãos e densidade de plantas) (ASSEFA et al., 2012; 2016; 2018; CIAMPITTI; VYN, 2012; 2014; TESTA; REYNERI; BLANDINO, 2016). Contudo, ainda há grande variabilidade entre híbridos de milho quanto a densidade de plantas ótima, principalmente, em função de características intrínsecas dos genótipos e das condições edafoclimáticas das regiões de cultivo.

A produtividade de grãos tem sido utilizada como variável resposta para discriminar genótipos e adequar sistemas de cultivo (VAN ROEKEL; COULTER, 2012; TSIMBA et al.,

2013; LI et al., 2015; 2020; SANGOI et al., 2015; ASSEFA et al., 2016; TESTA; REYNERI; BLANDINO, 2016). Porém, frequentemente é observada grande variabilidade quanto ao tamanho das parcelas e o número de repetições utilizado, visto que, em muitos casos a tomada de decisão ocorre de forma arbitrária ou com base em experimentos realizados anteriormente (CONFALONIERI et al., 2009; SOUZA et al., 2022). Dessa forma, a confiabilidade dos resultados pode ser comprometida (TOEBE et al., 2020b), dada a inexistência de planejamento experimental ou a ineficácia deste, logo, a probabilidade de ocorrência de erro tipo II é potencializada (CONFALONIERI et al., 2009; DOCHTERMANN; JENKINS, 2011; SOUZA et al., 2022).

Nessa perspectiva, é imprescindível que durante o planejamento experimental sejam utilizadas técnicas adequadas para dimensionar corretamente o tamanho de parcelas e o número de repetições. Dentre os métodos estatísticos mais utilizados e de eficiência já comprovada, destacam-se as técnicas de reamostragem. As quais, recentemente foram utilizadas para determinar o tamanho de amostra necessário para estimar a média e o coeficiente de variação (TOEBE et al., 2014), coeficientes de correlação (CARGNELUTTI FILHO et al., 2010; TOEBE et al., 2015), análise de trilha (TOEBE et al., 2017), regressões múltiplas (CARGNELUTTI FILHO; TOEBE, 2020) e os autovalores dos componentes principais de caracteres (CARGNELUTTI FILHO; TOEBE, 2021) na cultura do milho. Porém, não foram encontrados relatos na literatura acerca da sua utilização para determinar o tamanho de parcelas e o número de repetições adequados para avaliar a produtividade de grãos em híbridos e densidades de semeadura de milho.

## 1.1 HIPÓTESES

Frente ao exposto foram formuladas as seguintes hipóteses: (i) a produtividade de grãos de alguns híbridos de milho será superior sob densidade de semeadura superior a recomendada para a Região Sul do Brasil; (ii) a reamostragem com reposição em cenários formados por combinações entre tamanhos de parcela e número de repetições possibilita determinar o tamanho ótimo de parcelas e número de repetições para avaliar a produtividade de grãos em híbridos e densidades de semeadura de milho.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Determinar o tamanho de parcela e o número de repetições ótimos para avaliar a produtividade de grãos em híbridos e densidades de semeadura de milho.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a produtividade de grãos de híbridos de milho submetidos a densidades de semeadura na Região do Médio Alto Uruguai do Rio Grande do Sul.

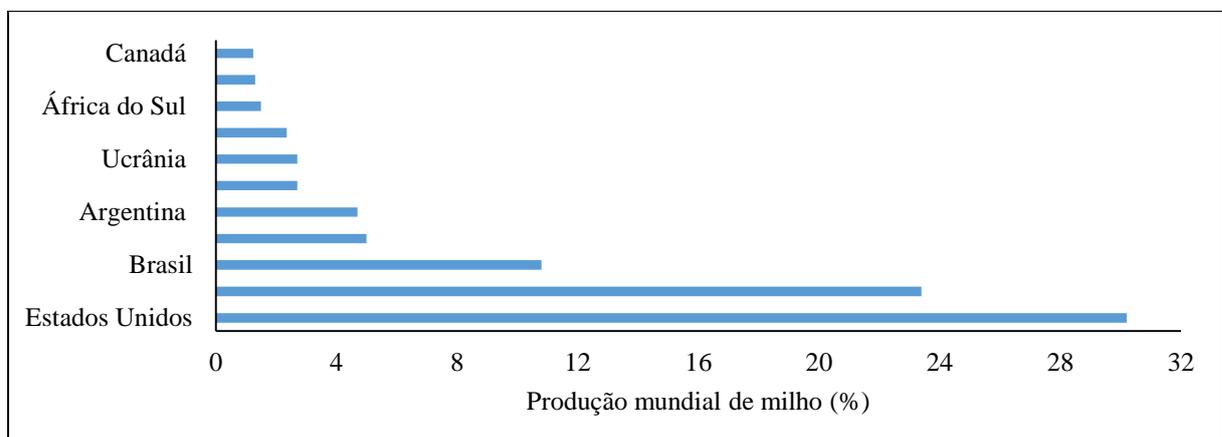
Determinar o tamanho de parcela e o número de repetições ótimos para avaliar a produtividade de grãos em híbridos e densidades de semeadura de milho por meio da técnica de reamostragem.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MILHO: IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E NUTRICIONAL

O milho (*Zea mays* L.) é uma monocotiledônea de ciclo anual pertencente à família Poaceae. A cultura é proveniente da domesticação do teosinto (*Zea mays* spp. *parviglumus*) há mais de 9000 anos no sul do México, onde permaneceu relativamente isolada até a colonização europeia nas américas (AWIKA, 2011; KENNETT et al., 2020). Desde então, disseminou-se mundialmente e tornou-se um dos principais cereais cultivados (GARCÍA-LARA; SERNASALDIVAR, 2019; ERENSTEIN et al., 2022). Atualmente, a área global de cultivo de milho ultrapassa 201 milhões de hectares (FAO, 2022), sendo os EUA, a China e o Brasil responsáveis por mais de 60% da produção mundial de grãos da cultura (Figura 1) (USDA, 2022).

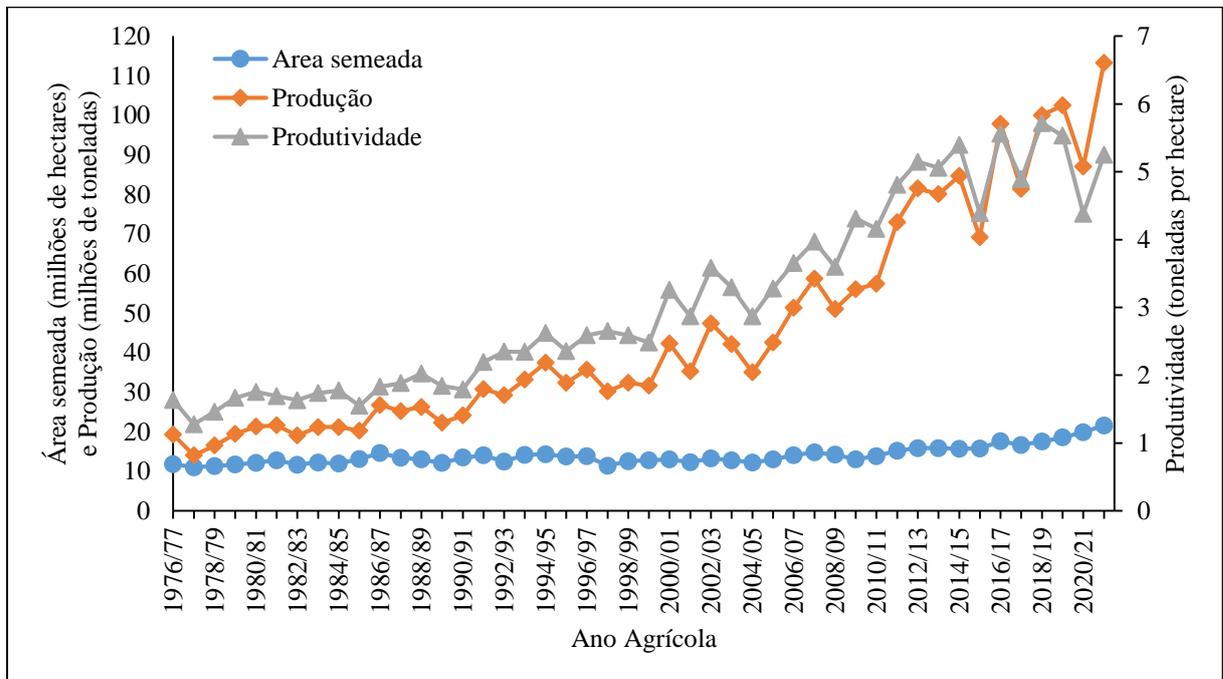
Figura 1 – Ranking dos dez países com maior produção de milho durante o ano de 2022.



Fonte: Adaptado de USDA (2022).

No Brasil, a estimativa da produção de milho para a safra 2021/22 foi de 113,27 milhões de toneladas, com produtividade média de 5,25 toneladas por hectare, em 21,58 milhões de hectares semeados (Figura 2) (CONAB, 2022). Considerando a série histórica da produção nacional, verifica-se que a área semeada aumentou em 83% nos últimos 46 anos (de 11,8 milhões de hectares na safra 1976/77 para 21,6 milhões de hectares na safra 2021/22). Nesse mesmo período, a produção de milho aumentou 488% (de 19,26 milhões de toneladas na safra 1976/77 para 113,27 milhões de toneladas na safra 2021/22). Dessa forma, é evidenciado um aumento de aproximadamente 221% na produtividade por área (de 1,63 toneladas por hectare na safra 1976/1977 para 5,25 toneladas por hectare na safra 2021/22), com incremento médio de 78,6 kg por hectare ano<sup>-1</sup>.

Figura 2 – Séries históricas da área semeada, da produção e da produtividade média de milho no Brasil.

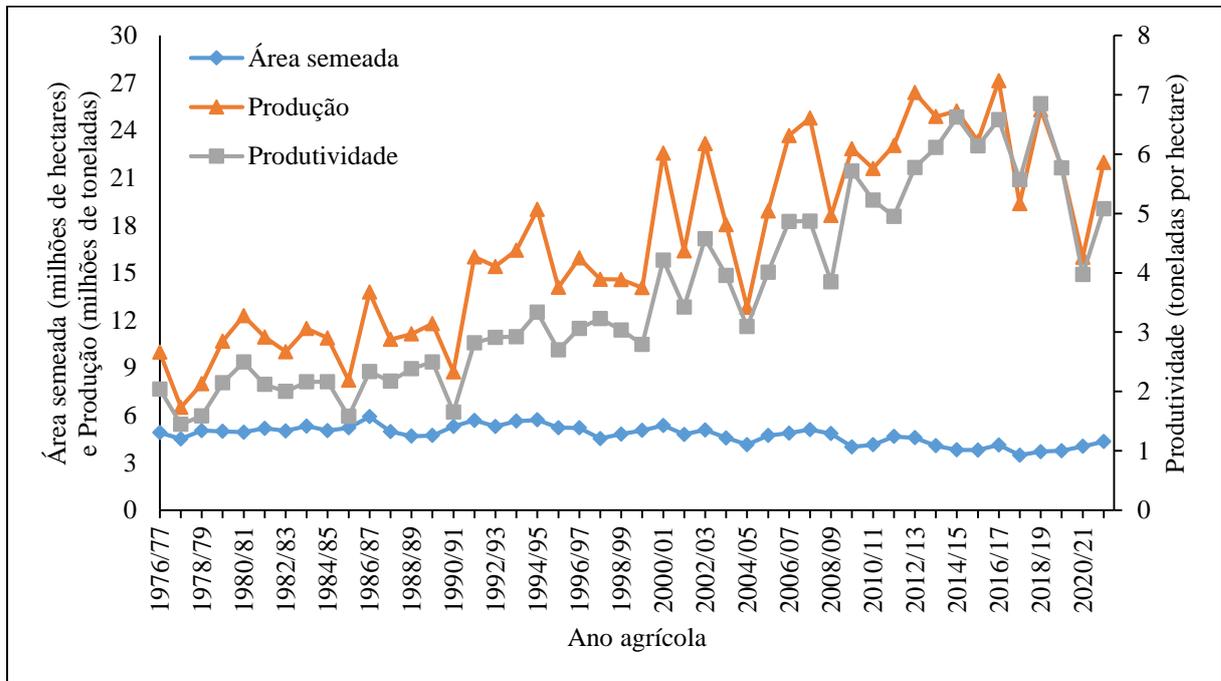


Fonte: Adaptado de CONAB (2022).

Na Região Sul do Brasil, a estimativa da produção de milho para o ano agrícola 2021/22 foi de 21,98 milhões de toneladas, com produtividade média de 5,08 toneladas por hectare, em 4,33 milhões de hectares semeados (Figura 3) (CONAB, 2022). Considerando a série histórica da produção de milho na Região Sul, verifica-se que a área semeada com a cultura reduziu em 11,48% ao longo dos últimos 46 anos. Nesse mesmo período, a produção aumentou 120,14%,

em virtude de um aumento de 148,7% na produtividade por área, refletido em incremento médio de 66 kg por hectare ano<sup>-1</sup>.

Figura 3 – Séries históricas da área semeada, da produção e da produtividade média de milho na Região Sul do Brasil.



Fonte: Adaptado de CONAB (2022).

A importância econômica e nutricional do milho concentra-se nas cadeias agroindustriais, principalmente, devido ao grande volume de produção e a ampla versatilidade de uso dos grãos, que apresentam bons teores de carboidrato, proteína e lipídeos (72%, 10% e 4%, respectivamente), além de vitaminas do complexo B e minerais essenciais (NUSS; TANUMIHARDJO, 2010; SZARESKI et al., 2018). Nesse contexto, dentre os principais cereais cultivados no mundo (ou seja, milho, trigo e arroz), o milho é o mais produzido, dispondo de uma produção superior a 1,15 bilhões de toneladas de grãos (USDA, 2022), das quais, mais da metade destina-se a produção de ração animal (monogástricos e ruminantes) (ERENSTEIN et al., 2022). Em termos de alimentação humana, o milho é o terceiro cereal mais consumido no mundo, ficando atrás apenas do trigo e do arroz, respectivamente (FAO, 2022). Ainda, a cultura mostra-se como uma potencial matriz energética, sendo utilizada para a produção de metano em plantas de biogás de escala agrícola, devido ao elevado potencial de produção de biomassa e rendimento de metano, bem como, da fácil integração em sistemas

agrícolas (rotação de culturas) (HERRMANN; IDLER; HEIERMANN, 2015). O cereal também apresenta aptidão de uso como biocombustível, principalmente nos EUA, onde cerca de 40% da produção de milho é destinada à fabricação de etanol (WALLINGTON et al., 2012; RANUM; PEÑA-ROSAS; GARCIA-CASAL, 2014).

## 2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DE QUALIDADE DE EXPERIMENTOS

Experimentos apresentam grande variabilidade quanto as suas características, no entanto, todos devem seguir os princípios básicos da experimentação (repetição, casualização e controle local, dependendo do delineamento utilizado) para que seja possível comparar os tratamentos e concluir acerca do seu comportamento sobre as variáveis respostas em estudo, com uma margem de erro conhecida (BANZATTO; KRONKA, 2013; RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012; STORCK et al., 2016).

Dentre as várias etapas necessárias para a realização destes, o planejamento experimental merece destaque por estar diretamente relacionado com a precisão experimental e a qualidade dos resultados. Durante a fase de planejamento são definidos pontos cruciais, como a cultura de interesse, quais e quantos serão os tratamentos e as variáveis resposta, qual será o tamanho das parcelas e o número de repetições, o delineamento experimental a ser utilizado, a forma de amostragem e de coleta dos dados, bem como, a forma de análise dos dados (BANZATTO; KRONKA, 2013; STORCK et al., 2016).

De acordo com Storck et al. (2016), experimentos estão pré-dispostos a ocorrência de erros, tanto de erro experimental quanto de erro sistemático. No primeiro caso, determinado tratamento é favorecido ou prejudicado aleatoriamente por fatores naturais ou induzidos durante a execução do experimento. Já no segundo caso, determinado tratamento é favorecido ou prejudicado em todas as suas repetições, por meio de erros cometidos durante o planejamento experimental ou durante a execução dos tratamentos e/ou tratos culturais. Dessa forma, durante o planejamento experimental, o pesquisador deve atentar-se às potenciais fontes de erro e formas de contorná-las durante a condução do experimento, de modo que, os resultados sejam precisos e confiáveis (LÚCIO et al., 2012). Banzatto e Kronka (2013), Ramalho, Ferreira e Oliveira (2012) e Storck et al. (2016) sugerem algumas formas para contornar as principais fontes de erro e aumentar a precisão experimental:

a) Heterogeneidade da área experimental: Geralmente em experimentos de campo há variabilidade quando as condições de solo das unidades experimentais (UE) (gradiente de fertilidade e/ou umidade, declividade, entre outros), diante disso, o pesquisador pode utilizar

resultados de experimentos realizados em anos anteriores ou executar ensaios de uniformidade, também conhecidos como experimentos em branco (todos os tratamentos culturais são realizados da mesma forma em todas as unidades experimentais e não existem tratamentos), antes de implantar o experimento de interesse. Dessa forma, é possível determinar com maior assertividade o delineamento experimental adequado a área experimental, bem como, o tamanho e a forma das parcelas, e o número de repetições e tratamentos a serem utilizados.

b) Heterogeneidade do material experimental: Sempre que possível deve-se realizar a homogeneização do material vegetal a ser utilizado, como por exemplo, utilizar plantas com idade e porte semelhante em experimentos com plantas arbóreas, homogeneizar o fertilizante a ser aplicado nas UE ou o substrato a ser utilizado em vasos ou bandejas, entre outras práticas.

c) Tratamentos culturais: Procedimentos rotineiros como capinas e controle de pragas e doenças, devem ser realizados de forma uniforme em toda a área durante o mesmo dia (delineamento inteiramente casualizado) ou seguindo uma ordem de realização, ou seja, realizar bloco após bloco ou delegar um bloco para cada operador (delineamento de blocos ao acaso e quadrado latino).

d) Competição intraparcelar: Sua ocorrência se dá em função de falhas ou perdas de plantas na parcela. Dessa forma, as plantas próximas a falha passam a competir entre si por recursos (nutrientes, água, luz e demais insumos) e seu crescimento ocorre de forma anormal. A fim de minimizar a ocorrência deste comportamento durante os estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, recomenda-se a semeadura sob densidade superior a desejada, e posteriormente, realizar o raleio de plantas até que a densidade desejada seja atingida. Porém, em alguns casos não é possível contornar ou evitar a perda/falha de plantas, nesses casos, o pesquisador pode alçar mão da realização da análise de covariância (combinação da análise de regressão e análise de variância) para contornar esta problemática.

e) Competição interparcelar: Quando os tratamentos são muito diferentes entre si, por exemplo, doses de fertilizante e diferentes ciclos de desenvolvimento, tem-se competição por recursos entre plantas de parcelas vizinhas. Nesses casos, a utilização de UEs maiores e a realização das avaliações apenas na área central (área útil) destas, desprezando bordaduras ou áreas vizinhas, promove a minimização de erro experimental. Por outro lado, quando o pesquisador escolhe não utilizar bordaduras e realizar as avaliações em toda a UE, o erro experimental pode ser reduzido por meio da redução do tamanho das UE e do aumento do número de repetições.

f) Pragas, doenças e plantas daninhas: Geralmente ocorrem de forma localizada, visto que, sua incidência e disseminação geralmente é dependente das condições microclimáticas e

da resistência genética das plantas. Dessa forma, quando o objetivo do trabalho não é o controle destas, o mesmo deve ser realizado de forma preventiva em todo o experimento a fim de minimizar sua interferência sobre resultados. Por outro lado, quando o objetivo é avaliar determinado protocolo de controle de pragas, doenças e plantas daninhas, sua inoculação e/ou controle devem ocorrer nos momentos adequados, por exemplo, em experimentos com plantas daninhas deve-se distribuir e incorporar sementes das plantas daninhas em estudo nas UEs, e realizar a aplicação dos herbicidas antes ou após a germinação (pré-emergentes ou pós-emergentes, respectivamente) das plantas daninhas, o mesmo vale para experimentos com pragas e doenças.

Frequentemente, a magnitude do erro experimental é quantificada por meio do coeficiente de variação experimental (CV%), e este, é utilizado como comparativo de precisão experimental entre experimentos semelhantes (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012; STORCK et al., 2016). Assim, tornou-se comum classificar a precisão de experimentos agrícolas em função do coeficiente de variação, seguindo por regra as seguintes classes: alta ( $CV < 10\%$ ), média ( $10\% \geq CV < 20\%$ ), baixa ( $20\% \geq CV < 30\%$ ) e muito baixa ( $CV > 30\%$ ) (PIMENTEL-GOMES, 2009).

### 2.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL: TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES

Experimentos de campo estão sujeitos a ocorrência de erro experimental de maior magnitude do que experimentos realizados em laboratório ou em casa de vegetação, pois as fontes de erro são potencializadas por fatores inerentes ao experimento e se não forem contornadas ou controladas de forma adequada, interferem significativamente sobre os resultados (DOCHTERMANN; JENKINS, 2011; STORCK et al., 2016). Dessa forma, a fim de minimizar eficientemente o erro experimental, é imprescindível que o pesquisador determine corretamente o tamanho das parcelas e amostras e o número de repetições necessários para avaliar com precisão as variáveis resposta de interesse (SILVA et al., 2012; BURIN et al., 2016; LAVEZZO et al., 2017; CARGNELUTTI FILHO et al., 2018a).

Diversos fatores estão envolvidos na determinação do tamanho das parcelas e no número de repetições de experimentos de campo, dentre eles, a heterogeneidade da área experimental pode ser considerada como o fator mais importante, logo, é de vital importância o conhecimento da área em que o experimento será conduzido (STORCK et al., 2016). Para tal, a realização de ensaios de uniformidade ou experimentos em branco tem sido uma prática

eficiente, pois possibilita avaliar a heterogeneidade da área experimental (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012; STORCK et al., 2016), e posteriormente, definir o delineamento experimental mais adequado ao experimento, além do tamanho das parcelas e o número de repetições necessários para obter a precisão experimental desejada (CARGNELUTTI FILHO et al., 2014a; 2015; 2018b; LAVEZZO et al., 2017).

Vale ressaltar que diferentes níveis de precisão experimental podem ser alcançados por meio da combinação entre o tamanho da parcela e o número de repetições, de modo que, o conhecimento do nível de precisão resultante da utilização de diferentes cenários é fundamental ao pesquisador, pois viabiliza a realização e apoia resultados de novos experimentos por meio da maximização da utilização de recursos, melhoria do controle e manejo experimental, principalmente, quando realizados em pequenas áreas experimentais (SILVA et al., 2012; CARGNELUTTI FILHO et al., 2014a).

De modo geral, em experimentos de campo com culturas agrícolas, o tamanho da parcela é proporcional a variabilidade da variável resposta e da cultura em estudo, de modo que, quanto maior a variabilidade do material experimental, maior deverá ser o tamanho da parcela necessário para garantir o nível de precisão desejado, até que este atinja o tamanho adequado. Assim, a partir do ponto em que o aumento do tamanho da parcela não resulta mais em incremento expressivo de precisão experimental, maiores acréscimos de precisão podem ser obtidos por meio da utilização de um maior número de repetições (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012).

Em qualquer experimento, a utilização de repetições é um fato importante, pois a partir delas é possível estimar a magnitude do erro experimental e fornecer as condições necessárias para testar as hipóteses formuladas a priori pelo pesquisador (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018c). A qualidade da média estimada é diretamente proporcional ao número de repetições utilizado, visto que o erro padrão da média é obtido a partir de  $s/\sqrt{r}$ , onde  $s$  é o desvio do erro padrão experimental e  $r$  é o número de repetições (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012; BANZATTO; KRONKA, 2013; STORCK et al., 2016). Assim, a utilização de um adequado número de repetições resultará em maior precisão experimental e incrementará o poder dos testes estatísticos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018c).

Cada vez mais a disponibilidade de tempo, mão de obra e recursos financeiros tem levado pesquisadores a realizar experimentos menores, reduzidos em número de tratamentos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008; 2014a), repetições ou utilizando parcelas menores. Dessa forma, a importância da realização de estudos para determinar o tamanho de parcela e número de repetições ótimos tem crescido. Dessa forma, técnicas como o método da curvatura

máxima do modelo de coeficiente de variação (PARANAÍBA; FERREIRA; MORAIS, 2009) tem sido utilizado para determinar tamanhos ótimos de parcela para diferentes culturas, enquanto o processo iterativo até a convergência, em cenários formados por combinações de tratamentos e diferenças mínimas entre médias de tratamentos a serem detectadas como significativas pelo teste de Tukey, tem sido utilizado para determinar o número de repetições (CARGNELUTTI FILHO et al., 2014b; 2015; 2017; TOEBE et al., 2020a). Nessa perspectiva, utilizando esses métodos, foram recomendados os seguintes tamanhos de parcela e número de repetições, respectivamente: 4,14 m<sup>2</sup> e 2, para avaliar a massa fresca de aveia preta (CARGNELUTTI FILHO et al., 2014b); 5,03 m<sup>2</sup> e 4, para massa fresca de ervilha forrageira (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015); 4,97 m<sup>2</sup> e 5, para massa fresca da parte aérea de milho (BURIN et al., 2016); 4,52 m<sup>2</sup> e 4, para massa fresca de ervilhaca (CARGNELUTTI FILHO et al., 2017); 1,57 m<sup>2</sup> e 4, para produtividade de grãos em quatro cultivares de aveia (LAVEZO et al., 2017); 9 m<sup>2</sup> e 4, para massa fresca de feijão-guandu (CARGNELUTTI FILHO et al. 2018b); 6,08 m<sup>2</sup> e 7, para produtividade de grãos de centeio (CHAVES et al., 2018); 2,19 m<sup>2</sup> e 5, 6, 7, e 8 para massa verde de azevém semeado a lanço em experimentos com até 5, 10, 20 e 50 tratamentos, respectivamente (TOEBE et al., 2020a); e 3,12 m<sup>2</sup> e 6, para massa verde de triticle aos 99 e 127 dias após a semeadura (TOEBE et al., 2020b).

Além das técnicas supracitadas e diante dos crescentes avanços das tecnologias de processamento de dados e da maior disponibilidade de programas estatísticos gratuitos, a utilização de estatísticas de amostragem tem aumentado nos últimos anos (BRUNELLI, 2014). Dentre os métodos mais utilizados, destaca-se a amostragem com reposição ou *bootstrap* (EFRON, 1992), a qual permite gerar observações a partir da distribuição da amostra original, sendo cada uma dessas novas observações geradas por meio de um processo de seleção aleatória. Contudo, como a simulação dos cenários é realizada de forma aleatória, esse processo costuma ser realizado diversas vezes, em geral entre 1000 e 10000 vezes, para garantir a obtenção de resultados precisos e sem viés.

Em culturas agrícolas, a técnica de amostragem tem sido utilizada principalmente para dimensionar tamanhos ótimos de amostras (TOEBE et al., 2014; 2015; 2017; 2018; CARGNELUTTI FILHO; TOEBE, 2020; 2021; 2022; SOUZA et al., 2022), principalmente em casos onde a distribuição de probabilidade dos dados é desconhecida (FERREIRA, 2009). Nesse sentido, a realização de combinações de cenários de números de repetições e de tamanhos de parcelas a partir de dados reais em processos de amostragem pode ser uma alternativa interessante na avaliação das melhores combinações a serem recomendadas aos pesquisadores.

### **3 CAPÍTULO I – PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE HÍBRIDOS DE MILHO SUBMETIDOS A DENSIDADES DE SEMEADURA NA REGIÃO DO MÉDIO ALTO URUGUAI DO RIO GRANDE DO SUL**

#### **3.1 RESUMO**

A utilização de híbridos de milho adaptados as condições edafoclimáticas da região de cultivo sob densidade ótima de plantas adequada é fator determinante para a maximização da produtividade de grãos. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a produtividade de híbridos de milho sob densidades de semeadura durante a safra 2020/21 na região do Médio Alto Uruguai do estado do Rio Grande do Sul. Os híbridos de milho AS 1555 PRO3, B2401 PWU, B2418 VYHR, B2612 PWU, BG 7061 YHR, DKB 235 PRO3, NS 45 VIP3, NS 73 VIP3, NS 80 VIP3, P2501, P3016 VYHR, P3565 PWU, e 30F53 VYHR foram submetidos as densidades de 66667 e 88889 plantas ha<sup>-1</sup>, num delineamento de blocos ao acaso com dez repetições, sendo realizada a quantificação da produtividade de grãos ao final do ciclo produtivo. Os híbridos de milho apresentaram produtividade de grãos superior quando submetidos a densidade de 88889 plantas ha<sup>-1</sup> na região do Médio Alto Uruguai do Rio Grande do Sul, superando na maioria dos casos a produtividade média estadual e nacional da safra 2020/21. A maioria dos híbridos de milho utilizados apresentam potencial para cultivo em densidade de semeadura superior às suas respectivas recomendações. Dada a produtividade superior dos híbridos NS 80 VIP3, B2401 PWU e NS 73 VIP3, recomenda-se o cultivo destes em condições semelhantes às do estudo.

**Palavras-chave:** Manejo cultural. Potencial produtivo. *Zea mays*.

## GRAIN YIELD OF CORN HYBRIDS SUBMITTED TO SOWING DENSITIES IN THE MEDIUM HIGH URUGUAY REGION OF RIO GRANDE DO SUL

### 3.2 ABSTRACT

The use of corn hybrids adapted to the soil and climate conditions of the cultivation region under adequate optimum plant density is a determining factor for the maximization of grain productivity. In this sense, the objective was to evaluate the productivity of corn hybrids under sowing densities during the 2020/21 crop season in the Medium High Uruguay region of the state of Rio Grande do Sul. The corn hybrids AS 1555 PRO3, B2401 PWU, B2418 VYHR, B2612 PWU, BG 7061 YHR, DKB 235 PRO3, NS 45 VIP3, NS 73 VIP3, NS 80 VIP3, P2501, P3016 VYHR, P3565 PWU, and 30F53 VYHR were submitted to densities of 66667 and 88889 plants ha<sup>-1</sup>, in a randomized block design with ten repetitions, and grain yield was quantified at the end of the productive cycle. Corn hybrids showed superior grain yield when subjected to the density of 88889 plants ha<sup>-1</sup> in the Middle Alto Uruguay region of Rio Grande do Sul, surpassing in most cases the state and national average yield of harvest 2020/21. Most of the corn hybrids used present potential for cultivation at higher sowing density than their respective recommendations. Considering the superior productivity of hybrids NS 80 VIP3, B2401 PWU and NS 73 VIP3, their cultivation under conditions similar to those of the study is recommended.

**Keywords:** Cultural management. Production potential. *Zea mays*.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado um dos principais cereais cultivados no mundo, sendo matéria prima para a produção de diversos produtos destinados a alimentação humana e animal, principalmente pelos bons teores de carboidrato, proteína e lipídeo de seus grãos (SZARESKI et al., 2018). A sua importância econômica e nutricional concentra-se em cadeias agroindustriais, onde mais da metade da produção mundial de grãos é destinada para a produção de ração animal (ERENSTEIN et al., 2022). Além disso, o cereal apresenta potencial energético, sendo utilizado na produção de etanol combustível (biocombustível aditivo para a gasolina) (RANUM; PEÑA-ROSAS; GARCIA-CASAL, 2014).

Os maiores países produtores da commodity, são os Estados Unidos da América, a China e o Brasil, responsáveis por aproximadamente 31, 23 e 11% da produção total de milho, respectivamente (USDA, 2022). A produção brasileira é resultado do cultivo de três safras anuais, que somadas, ultrapassam 21,5 milhões de hectares, com produtividade média de 5248,47 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2022).

O potencial produtivo do milho pode ser dividido em três componentes genotípicos: produtividade por planta; capacidade de resposta aos insumos agrícolas; e tolerância a estresses bióticos e abióticos (TESTA; REYNERI; BLANDINO, 2016). Nesse sentido, os avanços genéticos e agronômicos da cultura proporcionaram a criação de híbridos de milho com melhor resposta aos insumos agrícolas e maior tolerância aos estresses bióticos e abióticos do ambiente de cultivo (CIAMPITTI; VYN, 2012; 2014; HAARHOFF; SWANEPOEL, 2018; SCHWALBERT et al., 2018; SZARESKI et al., 2018). Dessa forma, foi possível aumentar tanto a produtividade de grãos quanto a densidade média de plantas utilizada nos principais países produtores (ASSEFA et al., 2018). Nesse sentido, altas produtividades de grãos frequentemente têm sido atribuídas a utilização de maiores densidades de plantas. Isso visto que, dentre os componentes produtivos da cultura, a densidade de plantas, o número de grãos e de espigas por hectare, e a massa de grãos, destacam-se por exercer grande impacto na produtividade (ASSEFA et al., 2012; 2016; CIAMPITTI; VYN, 2012; 2014; TESTA; REYNERI; BLANDINO, 2016).

Visando maximizar a eficiência produtiva do cereal, contínuas modificações foram realizadas na arquitetura de plantas, melhorando assim, a resposta de híbridos de milho a condições de alta competição intraespecífica, clima desfavorável e/ou baixa fertilidade do solo (TESTA; REYNERI; BLANDINO, 2016). Nesse sentido, as alterações no ângulo da folha têm proporcionado o aumento do índice de área foliar e da eficiência fotossintética, bem como, as

alterações no número de estômatos e distância entre feixes vasculares, que possibilitaram aumentar a tolerância de plantas ao estresse hídrico (SOUZA et al., 2013; LI et al., 2015; GONG et al., 2015). Por outro lado, a arquitetura do sistema radicular ainda é considerada fator limitante para maiores avanços técnicos (eficiência hídrica e nutricional) (LYNCH, 2013; MEISTER et al., 2014; POSTMA; DATHE; LYNCH, 2014; SAENGWILAI; TIAN; LYNCH, 2014; GONG et al., 2015; ZHAN; LYNCH, 2015).

Levando em consideração a importância da densidade de plantas sobre a produtividade de grãos, objetivou-se avaliar a produtividade de grãos de híbridos de milho submetidos a densidades de semeadura durante a safra 2020/21 na região do Médio Alto Uruguai do estado do Rio Grande do Sul.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria Campus Frederico Westphalen (27° 23' 50" S, 53° 25' 37" W) durante a safra 2020/21. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger's, o clima da região é caracterizado como Cfa (Clima Subtropical Úmido), e o solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico.

Utilizou-se treze híbridos de milho (Tabela 1) e duas densidades de semeadura [66667 (0,33 m entre plantas na fileira) e 88889 (0,25 m entre plantas na fileira) plantas ha<sup>-1</sup>], em esquema bifatorial completo com 26 tratamentos, no delineamento de blocos ao caso com dez repetições.

Como manejo pré-semeadura, foram realizadas duas aplicações de herbicida na área para o controle de plantas daninhas, sendo a primeira realizada em 04/09/2020 com os herbicidas glyphosate e diquate, e a segunda realizada em 18/09/2020 com glyphosate.

O manejo de adubação foi realizado de acordo com a análise de solo e recomendações para a cultura, com estimativa de produtividade de grãos superior a 12000 kg ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, foram utilizados 585 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante com formulação 5-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) na adubação de base e 238 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio parcelados em três aplicações em adubação de cobertura, realizada nos estádios fenológicos V3 (30% da dose total de N), V7 (40% da dose total de N), e V9 (30% da dose total de N), respectivamente. A semeadura foi realizada de forma manual em 20/09/2020, em parcelas de 3 × 2,25 m, compostas por cinco fileiras de semeadura espaçadas em 0,45 m.

Tabela 1 – Descrição dos híbridos de milho utilizados no experimento quanto ao ciclo de maturação e densidade de plantas recomendada para o período experimental.

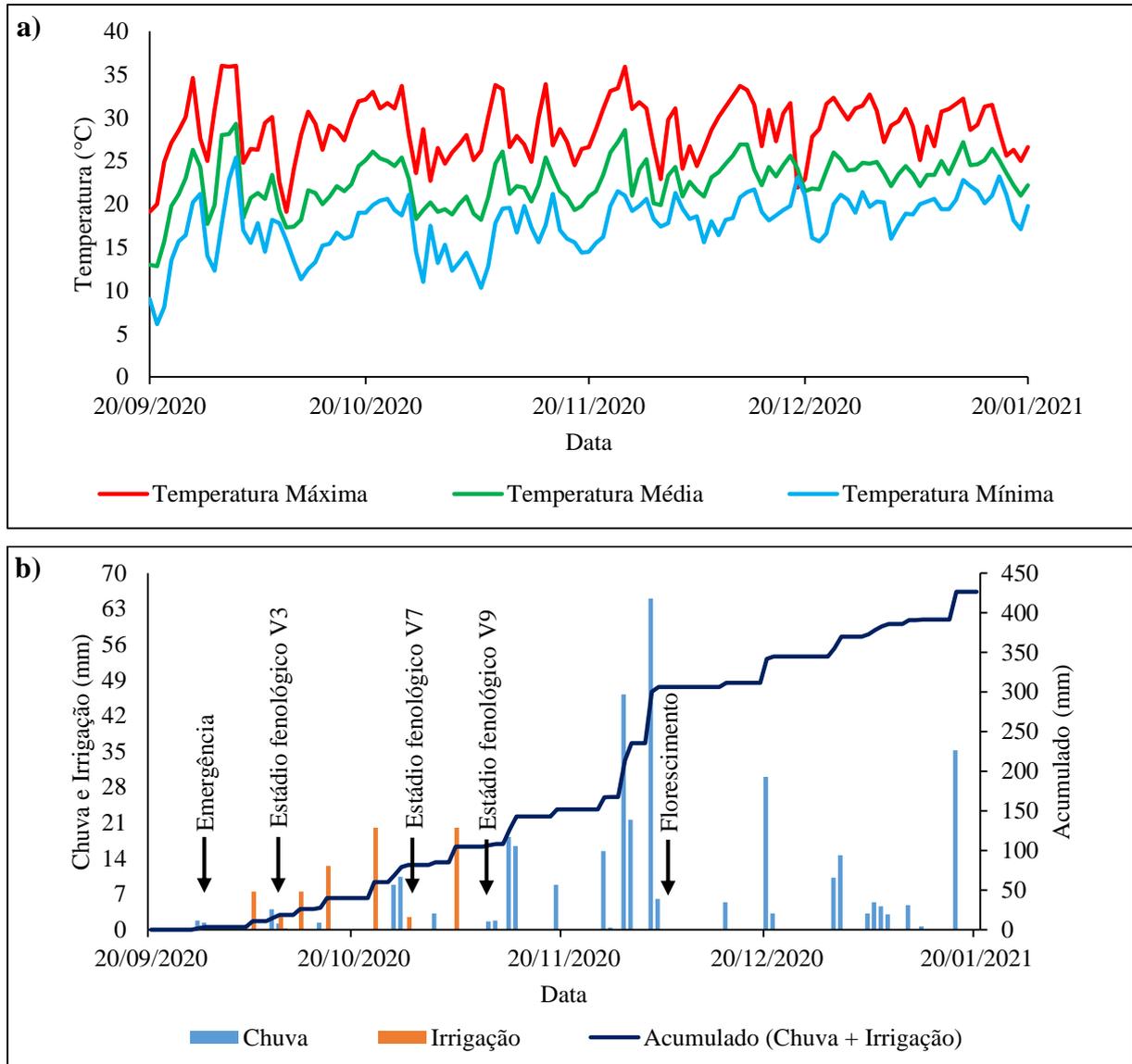
Híbridos	Ciclo de maturação	Densidade recomendada (em mil plantas ha <sup>-1</sup> )	Empresa detentora do híbrido
AS 1555 PRO3	Precoce	60 a 65	Agroeste <sup>®</sup>
B2401 PWU	Super precoce	60 a 65	Brevant <sup>®</sup>
B2418 VYHR	Super precoce	70 a 80	Brevant <sup>®</sup>
B2612 PWU	Precoce	65 a 70	Brevant <sup>®</sup>
BG 7061 YHR	Super precoce	55 a 65	BioGene <sup>®</sup>
DKB 235 PRO3	Super precoce	75 a 85	Dekalb <sup>®</sup>
NS 45 VIP3	Super precoce	75 a 80	Nidera <sup>®</sup>
NS 73 VIP3	Precoce	70 a 75	Nidera <sup>®</sup>
NS 80 VIP3	Precoce	75 a 80	Nidera <sup>®</sup>
P2501	Super precoce	60 a 75	Pioneer <sup>®</sup>
P3016 VYHR	Precoce	60 a 70	Pioneer <sup>®</sup>
P3565 PWU	Precoce	65 a 70	Pioneer <sup>®</sup>
30F53 VYH	Precoce	70 a 80	Pioneer <sup>®</sup>

Fonte: Autor.

Visando minimizar perdas de produtividade por matocompetição, realizou-se a aplicação do herbicida atrazina nas entrelinhas de semeadura quando as plantas encontravam-se em estágio fenológico V4. Durante o período inicial do estudo, foram realizadas irrigações a fim de minimizar perdas de plantas devido às elevadas temperaturas e baixa precipitação pluviométrica (Figura 1a, e 1b). Ainda, realizou-se o monitoramento de pragas e doenças, e quando necessário, o controle destas foi realizado por meio da aplicação de inseticidas e fungicidas recomendados para a cultura.

Ao final do ciclo, foi realizada manualmente a colheita das parcelas e a quantificação das respectivas produtividades de grãos e teores de umidade, para posterior padronização das produtividades de grãos em 13% de umidade.

Figura 1 – Condições climáticas registradas durante o período experimental em Frederico Westphalen, RS, Brasil:  
a) Temperatura máxima, média e mínima do ar, em °C; b) Regime de chuvas, irrigação e acumulado, em mm.



Fonte: Autor.

Os componentes de variância da produtividade de grãos foram estimados utilizando o modelo matemático bifatorial, dado por:

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + d_j + (ad)_{ij} + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Em que,  $Y_{ijk}$  é o valor médio observado da variável resposta na parcela  $ijk$ ,  $\mu$  é a média geral,  $a_i$  é o efeito fixo do nível  $i$  ( $i =$  AS 1555 PRO3, B2401 PWU, B2418 VYHR, B2612 PWU, BG 7061 YHR, DKB 235 PRO3, NS 45 VIP3, NS 73 VIP3, NS 80 VIP3, P2501, P3016 VYHR, P3565 PWU, 30F53 VYHR) do fator híbrido de milho,  $d_j$  é o efeito fixo do nível  $j$  ( $j =$

66667, 88889) do fator densidade de sementeira,  $(ad)_{ij}$  é o efeito da interação do nível  $i$  do fator híbrido de milho com o nível  $j$  do fator densidade de sementeira,  $\beta_k$  é o efeito aleatório do bloco ( $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$  e  $10$ ) e  $\varepsilon_{ijk}$  é o efeito do erro experimental, considerado normal e independentemente distribuído com média zero e variância comum  $\sigma^2$  (STORCK et al., 2016). Posteriormente calculou-se a precisão experimental e realizou-se o agrupamento de médias por meio do teste de Scott-Knott, tanto para os efeitos principais quanto para os desdobramentos, que foram realizados perante a existência de interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre híbridos de milho e densidades de sementeira, de modo que, avaliou-se o desdobramento do fator híbridos de milho dentro de cada densidade de sementeira, e vice-versa. Em todas as análises foi estabelecido 5% de significância, sendo estas, realizadas com auxílio dos softwares Microsoft Office Excel e SISVAR (FERREIRA, 2019).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

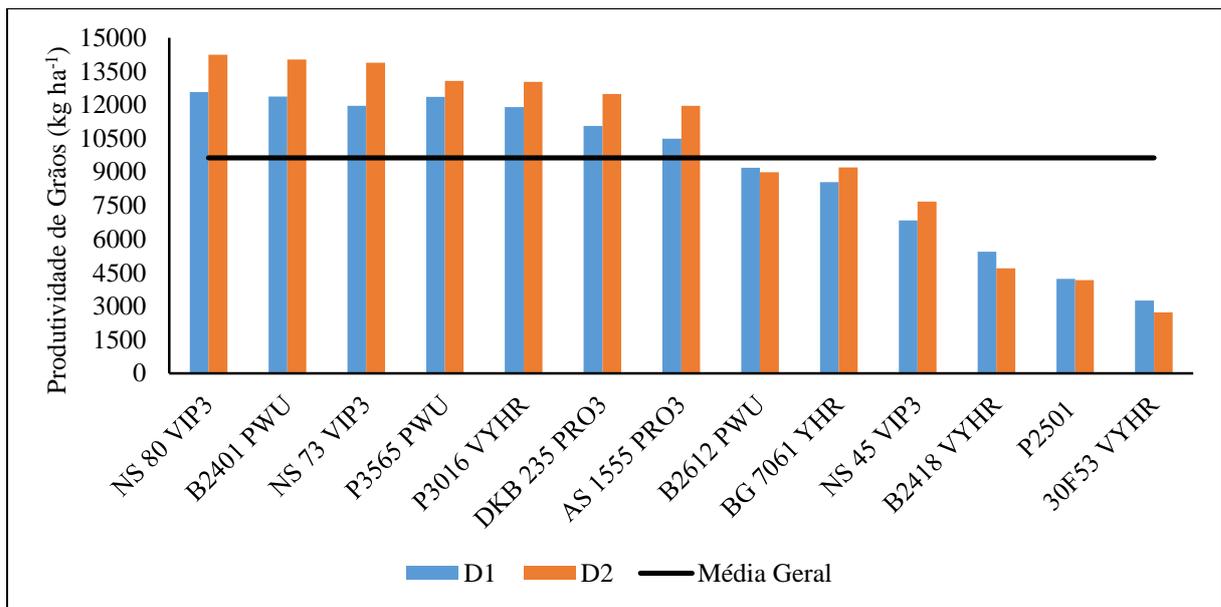
De acordo com a classificação proposta por Pimentel-Gomes (2009), a produtividade de grãos apresentou precisão experimental média ( $CV = 14,56\%$ ), sendo observado efeito significativo para híbridos de milho e densidades de sementeira, bem como, para a interação entre estes.

A média geral da produtividade de grãos foi alta ( $9630,74 \text{ kg ha}^{-1}$ ), quando comparada com a produtividade média do Rio Grande do Sul ( $5476 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e do Brasil ( $4367 \text{ kg ha}^{-1}$ ) durante a safra 2020/21 (CONAB, 2022). Os híbridos NS 80 VIP3, B2401 PWU, NS 73 VIP3, P3565 PWU, P3016 VYHR, DKB 235 PRO3 e AS 1555 PRO3 resultaram em produtividade de grãos superior à média geral do experimento (Figura 2), e além destes, os híbridos B2612 PWU, BG 7061 YHR e NS 45 VIP3 também superaram a média estadual e nacional (Tabela 2).

A produtividade de grãos da cultura é fortemente influenciada pela densidade de plantas, e esta, por sua vez, é influenciada tanto pelas condições edafoclimáticas da região de cultivo quanto pelas características intrínsecas do genótipo. Nesse sentido, em um ambiente de cultivo ideal e com disponibilidade ilimitada de recursos, a relação entre a densidade e a produtividade deve apresentar comportamento linear positivo, no entanto, fatores limitantes vinculados ao ambiente de cultivo (taxa de radiação solar incidente, disponibilidade hídrica e nutricional) e ao híbrido (potencial produtivo e tolerância a competição intraespecífica), fazem com que essa relação seja tipicamente quadrática, havendo uma densidade ótima de plantas para cada combinação de híbrido e ambiente de cultivo, na qual a produtividade de grãos é maximizada (VAN ROEKEL; COULTER, 2012; ROBLES; CIAMPITTI; VYN, 2012; HERNÁNDEZ;

AMELONG; BORRÁS, 2014; GAMBIN et al., 2016; ASSEFA et al., 2018). Dessa forma, a grande variação da produtividade de grãos observada ( $2727,31 \text{ kg ha}^{-1} \leq \text{produtividade de grãos} \leq 14247,23 \text{ kg ha}^{-1}$ ) pode estar relacionada a adaptabilidade dos híbridos de milho ao ambiente de cultivo ao qual foram submetidos, visto que estes, representaram uma amostra aleatória dos genótipos atualmente disponíveis para cultivo na Região Sul do Brasil.

Figura 2 – Comparativo de produtividade de grãos de treze híbridos de milho sob duas densidades de semeadura e suas respectivas médias.



D1 = 66667 plantas ha<sup>-1</sup>; D2 = 88889 plantas ha<sup>-1</sup>. Fonte: Autor.

A produtividade de grãos oscilou entre 3257,46 e 12570,30 kg ha<sup>-1</sup>, quando utilizada a densidade 66667 plantas ha<sup>-1</sup>, sendo os híbridos NS 80 VIP3, B2401 PWU, NS 73 VIP3, P3565 PWU, P3016 VYHR e DKB 235 PRO3 os mais produtivos. Já sob a densidade de 88889 plantas ha<sup>-1</sup>, a produtividade de grãos oscilou entre 2727,31 e 14247,23 kg ha<sup>-1</sup>, tendo os híbridos NS 80 VIP3, B2401 PWU e NS 73 VIP se destacado dos demais (Tabela 2).

Em geral, os híbridos de milho responderam positivamente a maior densidade de semeadura (88889 plantas ha<sup>-1</sup>), apresentando incremento médio na produtividade de grãos de cerca de 770 kg ha<sup>-1</sup> em relação a densidade de 66667 plantas ha<sup>-1</sup> (Tabela 2), indicando que o potencial produtivo destes híbridos está limitado a densidade de plantas recomendada para a Região Sul do Brasil (Tabela 1). Logo, o conhecimento acerca da adequada densidade de plantas para híbridos e regiões de cultivo específicas pode auxiliar no aumento da eficiência técnica da cultura (VAN ROEKEL; COULTER, 2012; ROBLES; CIAMPITTI; VYN, 2012;

REEVES; COX, 2013; HERNÁNDEZ; AMELONG; BORRÁS, 2014) na Região do Médio Alto Uruguaí gaúcho. Na literatura, existem relatos do efeito positivo do estande de plantas de milho sobre o rendimento de grãos em ensaios multiambientais (23 ambientes de cultivo  $\times$  9 híbridos de milho), sendo observado incremento médio de 1000 kg ha<sup>-1</sup> ao elevar a densidade em 10000 plantas ha<sup>-1</sup> (GAMBIN et al., 2016). Dessa forma, Buso et al. (2016) sugerem que o incremento produtivo está relacionado à melhoria da distribuição espacial de plantas sob densidades em torno de 80000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância com fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e os quadrados médios (QM) da análise de variância com as respectivas significâncias, coeficiente de variação experimental (CV, em %) e médias da produtividade de grãos de treze híbridos de milho e duas densidades de semeadura, semeados durante a safra 2020/21 em Frederico Westphalen, RS, Brasil.

FV	GL	QM produtividade de grãos		
Bloco	9	5263496,029*		
Híbrido	12	272417471,334*		
Densidade	1	38389218,643*		
Interação	12	4023605,683*		
Erro	225	1966128,648		
CV = 14,56%		Média geral = 9630,74 kg ha <sup>-1</sup>		
Híbridos	----- Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) -----			
	66667 plantas ha <sup>-1</sup>	88889 plantas ha <sup>-1</sup>	Geral/Híbrido	
NS 80 VIP3	12570,30 aB	14247,23 aA	13408,77	
B2401 PWU	12377,17 aB	14030,31 aA	13203,74	
NS 73 VIP3	11963,31 aB	13889,04 aA	12926,18	
P3565 PWU	12351,11 aA	13073,88 bA	12712,49	
P3016 VYHR	11899,94 aA	13034,39 bA	12467,17	
DKB 235 PRO3	11058,39 aB	12492,12 bA	11775,25	
AS 1555 PRO3	10483,03 bB	11963,39 bA	11223,03	
B2612 PWU	9193,07 cA	8984,54 cA	9088,80	
BG 7061 YHR	8548,01 cA	9209,67 cA	8878,84	
NS 45 VIP3	6832,47 dA	7672,77 dA	7252,62	
B2418 VYHR	5443,49 dA	4699,02 eA	5071,26	
P2501	4226,58 eA	4171,59 eA	4199,09	
30F53 VYHR	3257,46 eA	2727,31 fA	2992,39	
Geral/Densidade	9246,49	10014,99	9630,74	

<sup>(1)</sup> Médias de híbridos não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e médias de densidade de semeadura não seguidas pela mesma letra maiúscula na linha diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. \* Efeito significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> Não significativo. Fonte: Autor.

Reforçando a ideia de que a maximização da produtividade de grãos de híbridos de milho tem sido elevada sob densidade  $\geq$  80000 plantas ha<sup>-1</sup>, Robles, Ciampitti e Vyn (2012), relataram produtividade de grãos superior em densidade de 81000 plantas ha<sup>-1</sup> para três híbridos de milho em diversos ambientes de cultivo, durante os anos de 2009 e 2010. Van Roekel e Coulter (2012), sugeriram que a maximização da produtividade de grãos de híbridos de milho

de meia e última estação tende a ocorrer em densidade entre 80450 e 108700 plantas ha<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram observados por Reeves e Cox (2013), sendo sugerida a maximização da produtividade de grãos em densidade de plantas entre 86450 e 103740 plantas ha<sup>-1</sup>. Hernández, Amelong e Borrás (2014), observaram que a densidade ótima de plantas variou de 73000 a 119000 plantas ha<sup>-1</sup>, conforme o híbrido de milho utilizado durante as safras 2011/12 e 2012/13. Já Hörbe et al. (2013), relataram as condições de solo do ambiente de cultivo como fator limitante ao aumento na densidade de plantas de milho, visto que, o cultivo em solo considerado de baixa performance (menor teor de matéria orgânica e capacidade de armazenamento de água) gerou redução linear na produtividade de grãos a medida que a densidade de plantas aumentou. Por outro lado, houve maximização da produtividade de grãos em densidade de até 81576 plantas ha<sup>-1</sup>, quando o cultivo ocorreu em solo considerado de alta performance (alto teor de matéria orgânica e capacidade de armazenamento de água do solo).

### 3.6 CONCLUSÃO

Os híbridos de milho apresentaram produtividade de grãos superior quando submetidos a densidade de 88889 plantas ha<sup>-1</sup> na região do Médio Alto Uruguai do Rio Grande do Sul, superando na maioria dos casos a produtividade média estadual e nacional da safra 2020/21.

A maioria dos híbridos de milho utilizados apresentam potencial para cultivo em densidades de plantas superior às suas respectivas recomendações.

Dada a produtividade superior dos híbridos NS 80 VIP3, B2401 PWU e NS 73 VIP3, recomenda-se o cultivo destes em condições semelhantes às do estudo.

### 3.7 REFERÊNCIAS

ASSEFA, Y. et al. Dryland and Irrigated Corn Yield with Climate, Management, and Hybrid Changes from 1939 through 2009. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 2, p. 473-482, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0242>

ASSEFA, Y. et al. Yield Responses to Planting Density for US Modern Corn Hybrids: A Synthesis-Analysis. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2802-2817, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0215>

ASSEFA, Y. et al. Analysis of long term study indicates both agronomic optimal plant density and increase maize yield per plant contributed to yield gain. **Scientific Reports**, v. 8, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23362-x>

BUSO, W. H. D. et al. Corn agronomic characteristics according to crop year, spacing and plant population densities. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 2, p. 197-203, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/CS.v7i2.847>

CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. **Field Crops Research**, v. 133, n. 11, p. 48-67, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008>

CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Understanding Global and Historical Nutrient Use Efficiencies for Closing Maize Yield Gaps. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2107-2117, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0025>

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos: Décimo segundo levantamento: Safra 2021/22**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 set. 2022.

ERENSTEIN, O. et al. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Food Security**, v. 14, p. 1295-1319, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

GAMBIN, B. L. et al. Exploring genotype, management, and environmental variables influencing grain yield of late-sown maize in central Argentina. **Agricultural Systems**, v. 146, p. 11-19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.03.011>

GONG, F. et al. Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1-6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00835>

HAARHOFF, S. J.; SWANEPOEL, P. A. Plant Population and Maize Grain Yield: A Global Systematic Review of Rainfed Trials. **Crop Science**, v. 58, n. 5, p. 1819-1829, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0003>

HERNÁNDEZ, F.; AMELONG, A.; BORRÁS, L. Genotypic differences among argentinean maize hybrids in yield response to stand density. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2316-2324, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0183>

HÖRBE, T. A. N. et al. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 450-465, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9308-7>

LI, C. et al. Genetic Control of the Leaf Angle and Leaf Orientation Value as Revealed by Ultra-High Density Maps in Three Connected Maize Populations. **Plos One**, v. 10, n. 3, p. 1-13, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121624>

LYNCH, J. P. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. **Annals of Botany**, v. 112, n. 2, p. 347-357, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcs293>

MEISTER, R. et al. Challenges of modifying root traits in crops for agriculture. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 12, p. 779-788, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.08.005>

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

POSTMA, J. A.; DATHE, A.; LYNCH, J. P. The optimal lateral root branching density for maize depends on nitrogen and phosphorus availability. **Plant Physiology**, v. 166, n. 2, p. 590-602, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.233916>

RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1312, n. 1, p. 105-112, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>

REEVES, G. W.; COX, W. J. Inconsistent responses of corn to seeding rates in field-scale studies. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 3, p. 693-704, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0008>

ROBLES, M.; CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Responses of maize hybrids to twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 6, p. 1747-1756, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0231>

SAENGWILAI, P.; TIAN, X.; LYNCH, J. P. Low crown root number enhances nitrogen acquisition from low-nitrogen soils in maize. **Plant Physiology**, v. 166, n. 2, p. 581-589, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.232603>

SCHWALBERT, R. et al. Corn Yield Response to Plant Density and Nitrogen: Spatial Models and Yield Distribution. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 3, p. 970-982, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0425>

SOUZA, T. C. et al. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 3201-3211, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1355-1>

STORCK, L. et al. **Experimentação Vegetal**. 3. Ed. Santa Maria: UFSM, 2016.

SZARESKI, V. J. et al. Interrelations of Characters and Multivariate Analysis in Corn. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 2, p. 187-194, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n2p187>

TESTA, G.; REYNERI, A.; BLANDINO, M. Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. **European Journal of Agronomy**, v. 72, p. 28-37, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.006>

USDA – United States Department of Agriculture. **PSED Production, Supply and Distribution**. 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/topCountriesByCommodity>. Acesso em: 31 jul. 2022.

VAN ROEKEL, R. J.; COULTER, J. A. Agronomic responses of corn hybrids to row width and plant density. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 3, p. 612-620, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0380>

ZHAN, A.; LYNCH, J. P. Reduced frequency of lateral root branching improves N capture from low-N soils in maize. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 7, p. 2055-2065, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv007>

## 4 CAPÍTULO II – TAMANHO DE PARCELA E NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM HÍBRIDOS E DENSIDADES DE SEMEADURA DE MILHO

### 4.1 RESUMO

A produtividade de grãos tem sido amplamente utilizada para discriminar genótipos e adequar sistemas de cultivo, entretanto, a grande variabilidade quanto ao tamanho de parcelas e número de repetições utilizado nos experimentos com esse fim tem gerado uma disparidade de resultados, principalmente, devido à influência desses fatores sobre a precisão experimental. Nessa perspectiva, objetivou-se determinar o tamanho de parcela e o número de repetições adequados para determinar a produtividade de grãos em híbridos e densidades de semeadura de milho por meio de reamostragem com reposição em diversos cenários. Foram utilizados treze híbridos de milho e duas densidades de semeadura, num delineamento de blocos ao acaso com dez repetições. A colheita das parcelas (3 m × 5 fileiras de semeadura) foi realizada metro a metro, para determinar individualmente a produtividade destes. Foram gerados 135 cenários de combinações entre tamanho de parcela (1-15 metros lineares) e número de repetições (2-10) para a análise estatística. Para cada cenário, realizou-se 3000 reamostragens com reposição e, em cada amostra, calculou-se a ANOVA da produtividade de grãos e DMS para efeitos principais de híbridos e densidades e dos desdobramentos de suas interações. Foram extraídos os valores mínimo, percentil 2,5, média, percentil 97,5 e máximo de cada estatística a partir das 3000 reamostras e calculado a  $AIC_{95\%}$  pela diferença entre os percentis 97,5 e 2,5. A utilização de oito repetições de quatro metros lineares (14,40 m<sup>2</sup>) é suficiente para avaliar a produtividade de grãos de híbridos de milho em densidades de semeadura com alta precisão experimental.

**Palavras-chave:** Planejamento experimental. Reamostragem. *Zea mays*.

## **PLOT SIZE AND NUMBER OF REPETITIONS FOR EVALUATING THE GRAIN YIELD OF HYBRIDS AND SOWING DENSITIES OF CORN**

### **4.2 ABSTRACT**

The grain yield has been widely used to discriminate genotypes and to adapt cropping systems, however, the great variability regarding the size of plots and number of repetitions used in experiments with this purpose has generated a disparity of results, mainly due to the influence of these factors on the experimental precision. In this perspective, the objective was to determine the appropriate plot size and number of repetitions to determine the grain yield in corn hybrids and sowing densities through resampling with replacement in several scenarios. Thirteen corn hybrids and two seeding densities were used in a randomized block design with ten repetitions. Plots (3 m × 5 sowing rows) were harvested meter by meter to determine their productivity individually. A total of 135 scenarios of combinations between plot size (1-15 linear meters) and number of repetitions (2-10) were generated for the statistical analysis. For each scenario, 3000 resamples with replacement were performed and, in each sample, the ANOVA of grain yield and DMS were calculated for the main effects of hybrids and densities and the unfolding of their interactions. We extracted the minimum, percentile 2.5, mean, percentile 97.5, and maximum values of each statistic from the 3000 resamples and calculated the  $AIC_{95\%}$  by the difference between the percentiles 97.5 and 2.5. Using eight repetitions of four linear meters (14.40 m<sup>2</sup>) is sufficient to evaluate the grain yield of corn hybrids at sowing densities with high experimental precision.

**Keywords:** Experimental Planning. Resampling. *Zea mays*.

### 4.3 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado o principal cereal cultivado no mundo, principalmente, em virtude da elevada produção mundial e relevante importância socioeconômica em cadeias agroindustriais. Em 2020 a produção mundial de milho (1162 milhões de toneladas) superou a de trigo (760 milhões de toneladas) e de arroz (756 milhões de toneladas) (FAO, 2022).

A produtividade de grãos da cultura tem sido amplamente utilizada para discriminar genótipos e adequar sistemas de cultivo (VAN ROEKEL; COULTER, 2012; TSIMBA et al., 2013; LI et al., 2015; 2020; SANGOI et al., 2015; ASSEFA et al., 2016; TESTA; REYNERI; BLANDINO, 2016). Entretanto, há grande variabilidade quanto ao tamanho de parcela e número de repetições utilizados nesses experimentos, pois na maioria dos casos, a tomada de decisão acerca desses padrões ocorre de forma arbitrária (CONFALONIERI et al., 2009; SOUZA et al., 2022). Como o tamanho de parcela e o número de repetições interferem diretamente nos componentes de variância da análise de variância (STORCK et al., 2016; MASIMO et al., 2018), pode haver uma disparidade de resultados para uma mesma variável resposta (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; SOUZA et al., 2022), comprometendo assim, a confiabilidade do experimento (TOEBE et al., 2020), principalmente, pela maior probabilidade de ocorrência de erro tipo II em virtude da realização de um planejamento experimental ineficaz (CONFALONIERI et al., 2009; DOCHTERMANN; JENKINS, 2011; SOUZA et al., 2022).

Dessa forma, é imprescindível ao pesquisador o conhecimento do tamanho de parcela e número de repetições adequados para a cultura e variável em estudo. Dentre os métodos estatísticos utilizados para realizar o correto planejamento experimental em culturas agrícolas, destacam-se as técnicas de reamostragem, que foram utilizadas para determinar o tamanho de amostra (número de plantas) adequado para estimar a média e o coeficiente de variação (TOEBE et al., 2014), coeficientes de correlação (CARGNELUTTI FILHO et al., 2010a; TOEBE et al., 2015), análise de trilha (TOEBE et al., 2017), regressões múltiplas (CARGNELUTTI FILHO; TOEBE, 2020a) e os autovalores dos componentes principais de caracteres (CARGNELUTTI FILHO; TOEBE, 2021) na cultura do milho. Entretanto, não foram encontrados estudos na literatura acerca da utilização de técnicas de reamostragem para definir o tamanho de parcelas e número de repetições adequados para determinar a produtividade de híbridos de milho sob diferentes densidades de semeadura.

Nessa perspectiva, objetivou-se determinar o tamanho de parcela e o número de repetições adequados para determinar a produtividade de grãos em híbridos e densidades de semeadura de milho por meio de reamostragem com reposição em diversos cenários.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen, em Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil (27°23'50" S latitude, 53°25'37" W longitude, e 482 m de altitude) durante a safra 2020/21. A região é caracterizada por um clima subtropical úmido (Cfa), com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2014). Já o solo, caracteriza-se como Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2018).

Foram utilizados 13 híbridos comerciais de milho (AS 1555 PRO3, B2401 PWU, B2418 VYHR, B2612 PWU, BG 7061 YHR, DKB 235 PRO3, NS 45 VIP3, NS 73 VIP3, NS 80 VIP3, P2501, P3016 VYHR, P3565 PWU, 30F53 VYHR) e duas densidades de semeadura [66,7 (0,33 m entre plantas na fileira) e 88,9 (0,25 m entre plantas na fileira) mil plantas ha<sup>-1</sup>], num esquema bifatorial no delineamento de blocos ao acaso com 10 repetições.

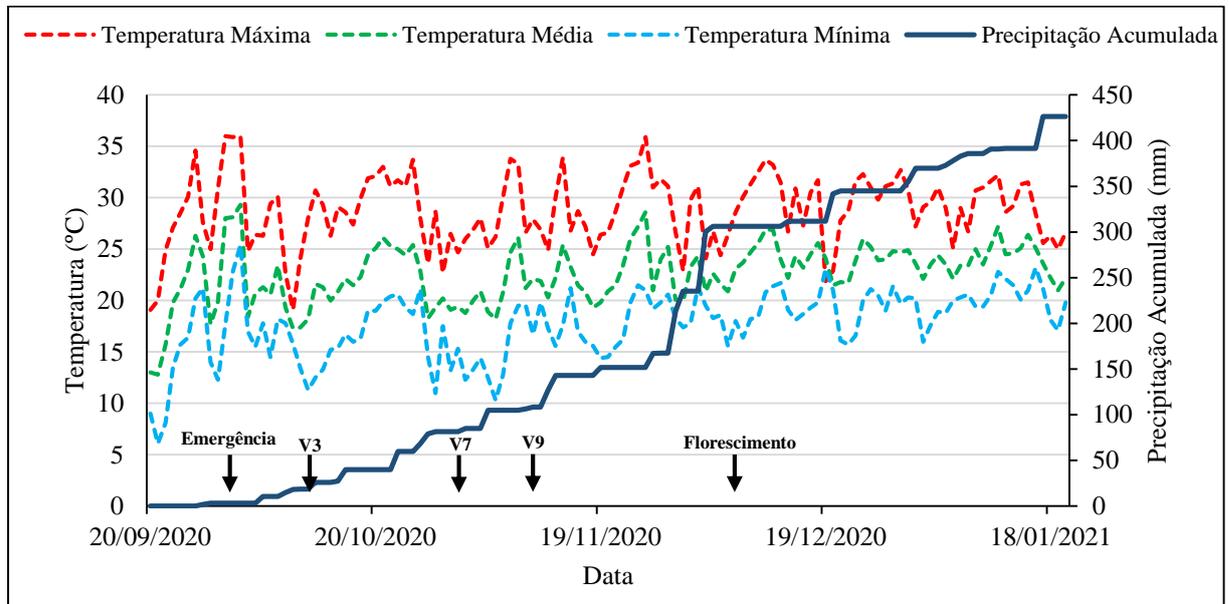
A semeadura foi realizada manualmente em 20 de setembro de 2020, em parcelas de 3 × 2,25 m, compostas por cinco fileiras de semeadura espaçadas em 0,45 m. Foram utilizados 535 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante comercial com formulação 5-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) na adubação de base e 530 kg ha<sup>-1</sup> de uréia (45% de N) parcelados em três aplicações na adubação de cobertura, as quais foram realizadas quando as plantas atingiram os estádios fenológicos V3 (30% da dose total), V7 (40% da dose total), e V9 (30% da dose total), respectivamente.

O período de crescimento inicial da cultura foi marcado por altas temperaturas e baixa precipitação pluviométrica, dessa forma, foram realizadas irrigações durante os primeiros 30 dias após a implantação do experimento para atender a demanda hídrica da cultura. De modo que, a precipitação acumulada durante o período experimental (20/09/2020 a 20/01/2021) foi de 426,5 mm, que segundo Oliveira, Miranda e Cooke (2018), são suficientes para a produção de grãos no Brasil (Figura 1).

A colheita das parcelas foi realizada de forma manual, de modo que, cada um dos 15 metros lineares das parcelas foi colhido individualmente para que fosse possível determinar a produtividade de grãos por metro linear. O teor de umidade (%) dos grãos foi aferido com o auxílio de um medidor de umidade de grãos portátil da marca Agrologic, modelo AL-102 ECO,

com precisão de 0,1%. Com isso, a produtividade de grãos de cada metro linear foi padronizada em 13% de umidade.

Figura 1 – Condições climáticas registradas durante o período experimental em Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: Autor.

Para a realização da análise estatística foram gerados 135 cenários por meio da combinação entre o tamanho da parcela (1 a 15 metros lineares) e o número de repetições (2 a 10 repetições) (Tabela 1).

Inicialmente, foram selecionados aleatoriamente blocos nas combinações de repetições pré-definidas [ $C_{(10,2)}$ ,  $C_{(10,3)}$ ,  $C_{(10,4)}$ ,  $C_{(10,5)}$ ,  $C_{(10,6)}$ ,  $C_{(10,7)}$ ,  $C_{(10,8)}$ ,  $C_{(10,9)}$  e experimento referência –  $C_{(10,10)}$ ] e, posteriormente, dentro de cada condição foram amostrados, novamente de modo aleatório e com reposição, os tamanhos de parcela citados. A seguir, em cada cenário planejado o valor médio para cada híbrido e densidade por bloco foi calculado. Em cada cenário foram realizadas 3000 reamostragem com reposição e, em cada reamostra, foi realizada a análise de variância da produtividade de grãos utilizando o modelo matemático bifatorial, dado por:  $Y_{ijk} = \mu + a_i + d_j + (ad)_{ij} + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$ , em que,  $Y_{ijk}$  é o valor médio observado da variável resposta na parcela  $ijk$ ,  $\mu$  é a média geral,  $a_i$  é o efeito fixo do nível  $i$  ( $i = AS\ 1555\ PRO3, B2401\ PWU, B2418\ VYHR, B2612\ PWU, BG\ 7061\ YHR, DKB\ 235\ PRO3, NS\ 45\ VIP3, NS\ 73\ VIP3, NS\ 80\ VIP3, P2501, P3016\ VYHR, P3565\ PWU, 30F53\ VYHR$ ) do fator híbrido de milho,  $d_j$  é o efeito fixo do nível  $j$  ( $j = 66667, 88889$ ) do fator densidade de semeadura,  $(ad)_{ij}$  é o efeito da

interação do nível  $i$  do fator híbrido de milho com o nível  $j$  do fator densidade de semeadura,  $\beta_k$  é o efeito aleatório do bloco ( $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$  e  $10$ ) e  $\varepsilon_{ijk}$  é o efeito do erro experimental, considerado normal e independentemente distribuído com média zero e variância comum  $\sigma^2$  (STORCK et al., 2016). Também foi calculado a diferença mínima significativa (DMS) do teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para efeitos principais de híbridos e densidades e dos desdobramentos das interações entre estes (Tabela 2).

Tabela 1 – Área ocupada por tratamento (em metros lineares e  $m^2$ ) em cada um dos 135 cenários de combinações entre tamanhos de parcela e números de repetições, para avaliação da produtividade de grãos de treze híbridos de milho sob duas densidades de semeadura em Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Área ocupada por tratamento em cada combinação, em metros lineares									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
13	26	39	52	65	78	91	104	117	130
14	28	42	56	70	84	98	112	126	140
15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Área ocupada por tratamento em cada combinação, em $m^2$									
1	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,60	4,05	4,50
2	1,80	2,70	3,60	4,50	5,40	6,30	7,20	8,10	9,00
3	2,70	4,05	5,40	6,75	8,10	9,45	10,80	12,15	13,50
4	3,60	5,40	7,20	9,00	10,80	12,60	14,40	16,20	18,00
5	4,50	6,75	9,00	11,25	13,50	15,75	18,00	20,25	22,50
6	5,40	8,10	10,80	13,50	16,20	18,90	21,60	24,30	27,00
7	6,30	9,45	12,60	15,75	18,90	22,05	25,20	28,35	31,50
8	7,20	10,80	14,40	18,00	21,60	25,20	28,80	32,40	36,00
9	8,10	12,15	16,20	20,25	24,30	28,35	32,40	36,45	40,50
10	9,00	13,50	18,00	22,50	27,00	31,50	36,00	40,50	45,00
11	9,90	14,85	19,80	24,75	29,70	34,65	39,60	44,55	49,50
12	10,80	16,20	21,60	27,00	32,40	37,80	43,20	48,60	54,00
13	11,70	17,55	23,40	29,25	35,10	40,95	46,80	52,65	58,50
14	12,60	18,90	25,20	31,50	37,80	44,10	50,40	56,70	63,00
15	13,50	20,25	27,00	33,75	40,50	47,25	54,00	60,75	67,50

Fonte: Autor.

Tabela 2 – Códigos, estruturas de cálculo e referências das estatísticas de precisão utilizadas.

Estatística de precisão	Código	Equação <sup>(*)</sup>	Referência
Valor do Teste F para híbridos de milho	Ft	$\frac{QMH}{QME}$	Storck et al. (2016)
Valor do Teste F para densidades de semeadura	Fd	$\frac{QMD}{QME}$	Storck et al. (2016)
Valor do Teste F para a interação	Fi	$\frac{QMI}{QME}$	Storck et al. (2016)
Coefficiente de variação experimental	CVe	$100 \sqrt{\frac{QME}{m}}$	Pimentel-Gomes (1991)
Diferença mínima significativa entre híbridos de milho	DMS <sub>h</sub>	$q_{\alpha(i;E_{gl})} \sqrt{\frac{QME}{jk}}$	Lúcio (1997)
Diferença mínima significativa entre densidades de semeadura	DMS <sub>d</sub>	$q_{\alpha(j;E_{gl})} \sqrt{\frac{QME}{ik}}$	Lúcio (1997)
Diferença mínima significativa do desdobramento de híbridos de milho dentro de densidades de semeadura	DMS <sub>hd</sub>	$q_{\alpha(i;E_{gl})} \sqrt{\frac{QME}{k}}$	Lúcio (1997)
Diferença mínima significativa do desdobramento de densidades de semeadura dentro de híbridos de milho	DMS <sub>dh</sub>	$q_{\alpha(j;E_{gl})} \sqrt{\frac{QME}{k}}$	Lúcio (1997)
Diferença mínima significativa entre híbridos de milho em porcentagem da média geral	DMS <sub>h</sub> %	$100 \frac{DMS_h}{m}$	Lúcio (1997)
Diferença mínima significativa entre densidades de semeadura em porcentagem da média geral	DMS <sub>d</sub> %	$100 \frac{DMS_d}{m}$	Lúcio (1997)
Diferença mínima significativa do desdobramento de híbridos de milho dentro de densidades de semeadura em porcentagem da média geral	DMS <sub>hd</sub> %	$100 \frac{DMS_{hd}}{m}$	Lúcio (1997)
Diferença mínima significativa do desdobramento de densidades de semeadura dentro de híbridos de milho em porcentagem da média geral	DMS <sub>dh</sub> %	$100 \frac{DMS_{dh}}{m}$	Lúcio (1997)

(\*) QMH – Quadrado médio de híbridos de milho; QMD – Quadrado médio de densidades de semeadura; QME – Quadrado médio do erro; QMI – Quadrado médio da interação entre híbridos de milho e densidades de semeadura;  $m$  – Média geral do experimento;  $i$  – Número de níveis do fator híbridos de milho;  $j$  – Número de níveis do fator híbridos de milho;  $k$  – Número de repetições/blocos;  $q_{\alpha(i \text{ ou } j; E_{gl})}$  – Valor crítico para o teste de Tukey realizado a 5% de probabilidade; Egl – Graus de liberdade do erro.

A seguir, foram extraídos os valores mínimo, percentil 2,5, média, percentil 97,5 e máximo de cada estatística a partir das 3000 reamostras e calculado a amplitude do intervalo de confiança de 95% ( $AIC_{95\%}$ ) pela diferença entre os percentis 97,5 e 2,5. Dessa forma, o  $AIC_{95\%}$  foi obtido através da seguinte equação:  $AIC_{95\%} = PS - PI$ , em que,  $PS$  é o percentil superior (percentil 97,5) e  $PI$  é o percentil inferior (percentil 2,5) das estimativas do *bootstrap*. As 135 amplitudes de cada estatística e cenário foram apresentadas em tabelas visando permitir ao leitor/pesquisador escolher o melhor cenário que garanta boa precisão e ocupe menor área

experimental por tratamento. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do Software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2022).

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média das reamostragens para a própria média de produtividade de grãos apresentou baixa variabilidade em função do tamanho de parcela e número de repetições utilizado. Logo, a estimativa da produtividade de grãos de híbridos de milho pode ser realizada por meio da utilização de cenários onde a área ocupada pelo tratamento varia entre 0,90 e 67,50 m<sup>2</sup>, ou seja, utilizando combinações de tamanho de parcela que variam entre um e 15 metros lineares e de duas a dez repetições (Tabelas 1 e 3) sem haver tendência de super ou subestimar a média, mostrando ser uma estatística não tendenciosa. Contudo, a amplitude do intervalo de confiança (AIC<sub>95%</sub>) para cada um dos 135 cenários utilizados, mostrou ser fortemente influenciada pelo tamanho de parcelas e número de repetições utilizadas. De modo que, sob a utilização de duas repetições, a AIC<sub>95%</sub> passou de 1883,7 para 1116,6 kg ha<sup>-1</sup> (ou seja, de 19,56 para 11,59% da média), na medida que o tamanho de parcelas aumentou de um para quinze metros lineares, respectivamente. Da mesma forma, sob a utilização de parcelas de um metro linear, a AIC<sub>95%</sub> passou de 1883,7 para 708,1 kg ha<sup>-1</sup> (ou seja, de 19,56 para 7,35% da média), na medida que o número de repetições aumentou de duas para dez, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Média geral de produtividade de grãos de treze híbridos de milho sob duas densidades de semeadura e amplitude do intervalo de confiança (AIC<sub>95%</sub>) em 135 cenários de combinações entre números de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Média geral das 3000 reamostras (em kg ha <sup>-1</sup> )									
1	9631,3	9629,4	9626,7	9631,1	9629,8	9636,9	9628,5	9631,6	9632,3
2	9623,4	9626,6	9638,0	9636,0	9629,3	9630,3	9632,1	9629,7	9630,5
3	9632,5	9631,4	9626,9	9628,9	9633,5	9633,8	9626,1	9628,3	9628,4
4	9623,9	9640,5	9636,1	9635,9	9633,4	9625,7	9629,8	9630,6	9631,4
5	9639,4	9631,7	9626,1	9626,3	9624,8	9632,8	9627,9	9631,2	9629,7
6	9636,0	9631,6	9626,4	9630,2	9633,1	9630,5	9632,5	9627,9	9631,3
7	9641,0	9630,2	9628,6	9629,5	9629,2	9630,7	9628,0	9631,6	9631,1
8	9633,8	9629,5	9629,4	9629,5	9629,6	9633,9	9629,9	9632,3	9630,5
9	9633,0	9630,9	9632,4	9628,0	9631,8	9628,7	9631,3	9630,9	9632,0
10	9628,7	9629,8	9633,0	9631,5	9633,7	9631,9	9630,9	9628,7	9629,5
11	9643,4	9637,6	9634,0	9632,1	9625,3	9628,1	9631,2	9631,0	9629,0
12	9616,9	9633,0	9625,8	9628,3	9629,8	9632,2	9629,5	9630,6	9630,5
13	9622,3	9632,5	9628,7	9628,8	9632,9	9628,9	9630,6	9632,3	9631,2
14	9629,9	9622,8	9623,7	9633,1	9629,8	9629,4	9632,0	9632,4	9631,5
15	9635,5	9634,4	9630,2	9632,2	9629,5	9632,0	9631,8	9629,4	9632,3
Amplitude do Intervalo de Confiança (em kg ha <sup>-1</sup> )									
1	1883,7	1534,3	1325,8	1160,6	997,1	922,4	819,5	781,1	708,1
2	1556,5	1225,4	1047,1	849,0	784,6	704,2	596,3	546,6	494,2
3	1414,6	1099,6	909,5	776,9	683,6	612,1	509,5	474,0	397,6
4	1354,6	1068,8	874,0	725,6	643,3	548,3	484,8	408,5	346,0
5	1286,2	1018,1	835,2	674,6	603,2	514,0	448,7	377,4	310,0
6	1247,8	981,8	818,4	677,7	573,9	507,2	419,3	353,6	279,3
7	1215,2	975,9	786,5	663,8	562,2	476,2	400,1	333,6	268,2
8	1212,7	944,1	758,7	652,1	534,3	467,9	395,0	320,4	248,6
9	1182,5	965,2	758,8	646,9	531,2	440,4	383,8	306,8	232,6
10	1189,1	906,1	764,2	630,6	510,9	444,2	376,6	296,3	221,1
11	1166,6	936,1	757,2	610,2	513,1	442,2	365,5	292,3	207,1
12	1160,7	885,2	733,0	620,2	512,8	426,2	334,1	278,1	208,6
13	1145,6	904,2	730,7	601,2	507,0	431,2	352,1	281,1	192,1
14	1165,4	895,9	725,3	614,2	495,6	422,0	351,1	270,3	183,8
15	1116,6	905,0	715,7	600,8	517,0	413,9	334,9	267,8	185,1
Amplitude do Intervalo de Confiança (em % da média)									
1	19,56	15,93	13,77	12,05	10,35	9,57	8,51	8,11	7,35
2	16,17	12,73	10,86	8,81	8,15	7,31	6,19	5,68	5,13
3	14,69	11,42	9,45	8,07	7,10	6,35	5,29	4,92	4,13
4	14,08	11,09	9,07	7,53	6,68	5,70	5,03	4,24	3,59
5	13,34	10,57	8,68	7,01	6,27	5,34	4,66	3,92	3,22
6	12,95	10,19	8,50	7,04	5,96	5,27	4,35	3,67	2,90
7	12,60	10,13	8,17	6,89	5,84	4,94	4,16	3,46	2,78
8	12,59	9,80	7,88	6,77	5,55	4,86	4,10	3,33	2,58
9	12,28	10,02	7,88	6,72	5,52	4,57	3,99	3,19	2,41
10	12,35	9,41	7,93	6,55	5,30	4,61	3,91	3,08	2,30
11	12,10	9,71	7,86	6,34	5,33	4,59	3,79	3,03	2,15
12	12,07	9,19	7,62	6,44	5,33	4,42	3,47	2,89	2,17
13	11,91	9,39	7,59	6,24	5,26	4,48	3,66	2,92	1,99
14	12,10	9,31	7,54	6,38	5,15	4,38	3,64	2,81	1,91
15	11,59	9,39	7,43	6,24	5,37	4,30	3,48	2,78	1,92

Fonte: Autor.

Sabe-se que, a partir de determinado ponto, o ganho de precisão em virtude do aumento no tamanho de parcela deixa de ser expressivo, tornando necessário aumentar o número de repetições para maiores incrementos de precisão (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). Pois este, exerce influência direta sobre a precisão experimental e capacidade de detecção de diferenças entre tratamentos (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012; BANZATTO; KRONKA, 2013; CASLER, 2015; STORCK et al., 2016; CARGNELUTTI FILHO et al., 2018). Nessa perspectiva, diferentes  $AIC_{95\%}$  foram observadas em cenários que dispõem de mesma área ocupada pelo tratamento, mas diferenciam-se quanto ao tamanho de parcela e número de repetições. Como, por exemplo, os cenários que dispõem das seguintes áreas:  $4,50 \text{ m}^2 = AIC_{95\%}$  de 1286,2 e  $708,1 \text{ kg ha}^{-1}$  (duas repetições de cinco metros lineares e dez repetições de um metro linear, respectivamente);  $10,80 \text{ m}^2 = AIC_{95\%}$  de 818,4 e  $509,5 \text{ kg ha}^{-1}$  (quatro repetições de seis metros lineares e oito repetições de três metros lineares, respectivamente);  $14,40 \text{ m}^2 = AIC_{95\%}$  de 758,7 e  $484,8 \text{ kg ha}^{-1}$  (quatro repetições de oito metros lineares e oito repetições de quatro metros lineares, respectivamente), e;  $27,00 \text{ m}^2 = AIC_{95\%}$  de 715,7 e  $279,3 \text{ kg ha}^{-1}$  (quatro repetições de quinze metros lineares e dez repetições de seis metros lineares, respectivamente) (Tabela 3). Logo, a redução da  $AIC_{95\%}$  em função, principalmente, do aumento do número de repetições, indica melhoria na precisão com que as médias de produtividade de grãos foram estimadas (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018).

Dessa forma, é vital ao pesquisador definir cenários que gerem precisões adequadas ao escopo do experimento, de modo que, o número de repetições escolhido proporcione alta precisão experimental sem comprometer a execução do experimento (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008; 2014; CARGNELUTTI FILHO; TOEBE, 2020b). Nessa perspectiva, cenários que resultam em pequena área e baixa  $AIC_{95\%}$  podem ser considerados adequados para discriminar híbridos quanto a produtividade de grãos. Assim, para a obtenção de uma  $AIC_{95\%}$  inferior a  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  (cerca de 5% da média) recomenda-se a utilização do cenário constituído por oito repetições de quatro metros lineares (Tabela 3).

A diferença mínima significativa (DMS) caracteriza-se como uma técnica estatística capaz de determinar o valor a partir do qual a diferença entre dois tratamentos torna-se significativa (LÚCIO; STORCK, 1998). Entretanto, sua utilização tem sido mais indicada para experimentos que dispõem de médias semelhantes (CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2007; 2009). Nessa perspectiva, visando avaliar a precisão experimental de ensaios de cultivares de milho, definiu-se os seguintes limites para a DMS (%): muito baixa,  $\leq 9,0$ ; baixa,  $9,0 < DMS \leq 25,5$ ; média,  $25,5 < DMS \leq 48,5$ ; alta,  $48,5 < DMS \leq 65,0$ ; e muito alta,  $> 65,0$

(LÚCIO; STORCK; BANZATTO, 1999). Dessa forma, DMSs baixas são almeçadas, pois conferem maior precisão experimental e confiabilidade às estimativas (STORCK et al., 2016).

As médias da DMS para o primeiro fator (híbridos de milho) oscilaram entre 8059,4 e 1678,2 kg ha<sup>-1</sup>, para o menor e o maior cenário utilizado, respectivamente (ou seja, duas repetições de um metro linear = 0,90 m<sup>2</sup> e dez repetições de quinze metros lineares = 67,50 m<sup>2</sup>, respectivamente) (Tabela 4). De modo que, ganhos de precisão experimental foram observados em função do aumento do número de repetições e tamanhos de parcela, conforme já indicado na literatura (CARGNELUTTI FILHO; STORCK; GUADAGNIN, 2010; MENDOZA; BUITRAGO, 2015; CARGNELUTTI FILHO et al., 2018; CARGNELUTTI FILHO; TOEBE, 2020b). Contudo, como o número de repetições exerce maior influência sobre a precisão experimental que o tamanho de parcelas (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012; BANZATTO; KRONKA, 2013; STORCK et al., 2016), nota-se que, diferentes níveis de precisão podem ser obtidos em função da combinação entre estes, mesmo quando estas combinações dispõem de mesma área por tratamento, como por exemplo: 4,50 m<sup>2</sup> = DMS 4865,9 kg ha<sup>-1</sup> (duas repetições de cinco metros lineares) e 3371,6 kg ha<sup>-1</sup> (dez repetições de um metro linear); 14,40 m<sup>2</sup> = DMS de 2959,2 kg ha<sup>-1</sup> (quatro repetições de oito metros lineares) e 2374,6 kg ha<sup>-1</sup> (oito repetições de quatro metros lineares), e; 27,00 m<sup>2</sup> = DMS de 2695,9 kg ha<sup>-1</sup> (quatro repetições de quinze metros lineares) e 1933,3 kg ha<sup>-1</sup> (dez repetições de seis metros lineares) (Tabela 4).

Tabela 4 – Diferença mínima significativa (DMS) para o fator principal híbridos de milho e respectivas amplitudes do intervalo de confiança (AIC<sub>95%</sub>) da DMS (em kg ha<sup>-1</sup>) da média de 3000 reamostras para a produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Média das 3000 reamostras da DMS entre híbridos de milho (em kg ha <sup>-1</sup> )									
1	8059,4	6346,7	5442,7	4821,1	4390,4	4051,6	3785,8	3561,3	3371,6
2	6256,4	4916,1	4192,6	3734,5	3387,8	3129,2	2920,0	2752,0	2606,0
3	5519,7	4331,1	3698,5	3281,1	2979,5	2749,8	2570,9	2423,7	2294,1
4	5124,3	3998,3	3413,4	3035,5	2758,1	2545,3	2374,6	2242,7	2119,9
5	4865,9	3784,2	3242,0	2876,5	2615,3	2410,7	2254,4	2121,1	2011,6
6	4663,7	3647,1	3113,1	2763,9	2513,3	2322,8	2167,3	2039,4	1933,3
7	4509,2	3537,2	3015,0	2683,7	2439,1	2251,6	2102,8	1980,5	1874,3
8	4430,3	3460,0	2959,2	2622,2	2380,5	2196,2	2051,5	1930,5	1830,4
9	4318,8	3385,7	2889,5	2568,0	2338,9	2155,6	2015,9	1892,6	1796,2
10	4245,3	3336,9	2848,5	2526,8	2296,8	2123,9	1980,7	1865,0	1768,5
11	4170,9	3299,1	2811,1	2492,7	2268,4	2090,8	1953,9	1840,3	1745,7
12	4170,7	3257,7	2779,4	2457,6	2243,1	2070,9	1928,6	1817,8	1723,3
13	4106,8	3216,7	2745,3	2438,4	2220,4	2046,4	1911,2	1801,2	1704,5
14	4069,2	3190,8	2730,4	2422,5	2200,3	2030,9	1895,4	1783,5	1691,8
15	4048,2	3168,4	2695,9	2402,9	2185,5	2014,3	1880,0	1772,2	1678,2
AIC <sub>95%</sub> da DMS entre híbridos de milho (em kg ha <sup>-1</sup> )									
1	5043,8	2820,9	1959,4	1480,0	1209,5	1002,5	857,4	739,9	652,0
2	3735,3	2057,2	1496,3	1103,8	902,9	759,2	630,9	568,9	495,4
3	3332,1	1845,8	1280,4	953,2	754,7	631,8	549,4	471,6	411,2
4	3199,6	1655,8	1121,5	869,1	680,6	568,6	467,9	415,2	352,4
5	2996,0	1515,2	1095,3	790,9	619,5	514,1	448,5	384,8	340,3
6	2724,3	1507,6	1002,1	754,0	591,4	479,4	406,1	345,2	308,7
7	2764,9	1458,7	944,9	714,0	553,9	461,5	385,3	326,5	284,6
8	2651,1	1328,1	933,9	705,2	532,6	437,0	367,8	310,5	266,8
9	2603,0	1367,6	898,8	644,9	522,6	436,6	345,3	292,5	253,5
10	2518,9	1325,8	891,0	654,6	509,4	421,9	343,1	286,5	239,5
11	2499,3	1277,5	873,7	640,4	491,8	395,4	323,5	272,6	235,2
12	2446,1	1276,3	851,5	605,3	474,9	396,9	315,3	260,7	217,8
13	2418,0	1312,0	845,1	597,9	478,9	380,7	308,9	251,2	211,8
14	2480,0	1271,6	831,5	599,5	453,8	361,1	300,6	247,7	209,2
15	2383,9	1239,4	806,6	595,9	443,6	355,3	298,7	241,6	205,8

Fonte: Autor.

Ainda, nota-se que a DMS em percentagem da média pode ser reduzida em até 66,52% em função do aumento do número de repetições e tamanho de parcelas, de modo que, a precisão experimental oscilou entre muito baixa e alta ( $17,42 \leq \text{DMS} (\%) \leq 83,94$ ), segundo os limites propostos por Lúcio, Storck e Banzatto (1999) (Tabela 4). Contudo, a utilização do maior cenário (dez repetições de quinze metros lineares) é inviável devido à grande área ocupada pelo tratamento ( $67,50 \text{ m}^2$ ), assim, alternativas como a utilização de cenários formados por nove repetições de três metros lineares ( $12,15 \text{ m}^2$ ) e oito repetições de quatro metros lineares ( $14,40 \text{ m}^2$ ) mostram-se mais vantajosas ao pesquisador, pois mesmo com menores áreas ainda mantém alta precisão experimental (DMS = 25,18 e 24,66% da média geral, respectivamente) para discriminar híbridos de milho quanto à produtividade de grãos (Tabelas 1 e 5).

Tabela 5 – Diferença mínima significativa (DMS) entre híbridos de milho em porcentagem da média geral de 3000 reamostras e amplitude do intervalo de confiança ( $AIC_{95\%}$ ) da DMS percentual da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DMS entre híbridos de milho (em % da média)								
1	83,94	66,03	56,61	50,11	45,63	42,07	39,34	36,99	35,01
2	65,17	51,14	43,55	38,78	35,20	32,51	30,32	28,58	27,06
3	57,43	45,03	38,45	34,10	30,94	28,55	26,71	25,18	23,83
4	53,36	41,53	35,46	31,52	28,64	26,45	24,66	23,29	22,01
5	50,58	39,34	33,71	29,90	27,18	25,03	23,42	22,03	20,89
6	48,50	37,91	32,37	28,72	26,10	24,12	22,50	21,18	20,07
7	46,86	36,77	31,34	27,88	25,34	23,38	21,84	20,56	19,46
8	46,09	35,98	30,75	27,25	24,73	22,80	21,31	20,04	19,01
9	44,93	35,20	30,02	26,69	24,29	22,39	20,93	19,65	18,65
10	44,18	34,69	29,59	26,25	23,85	22,06	20,57	19,37	18,37
11	43,34	34,27	29,20	25,89	23,57	21,72	20,29	19,11	18,13
12	43,45	33,85	28,90	25,54	23,30	21,50	20,03	18,88	17,89
13	42,76	33,43	28,53	25,34	23,06	21,26	19,85	18,70	17,70
14	42,34	33,20	28,39	25,16	22,86	21,10	19,68	18,52	17,57
15	42,10	32,92	28,01	24,96	22,70	20,92	19,52	18,41	17,42
	$AIC_{95\%}$ da DMS entre híbridos de milho (em % da própria DMS)								
1	53,91	30,99	21,92	16,91	13,38	11,06	9,50	7,99	7,28
2	41,60	23,10	16,65	12,39	10,13	8,43	6,83	6,08	5,28
3	36,66	20,73	14,17	10,37	8,25	6,89	5,91	5,04	4,34
4	35,30	18,54	12,60	9,67	7,43	6,19	5,17	4,40	3,74
5	32,93	16,91	12,12	8,86	6,99	5,69	4,83	4,12	3,55
6	30,10	16,57	11,31	8,33	6,46	5,22	4,42	3,73	3,21
7	30,34	15,89	10,55	8,16	6,17	5,11	4,24	3,54	2,95
8	29,07	15,10	10,57	7,78	5,87	4,84	3,99	3,36	2,82
9	28,65	15,12	10,00	7,44	5,83	4,79	3,79	3,18	2,64
10	27,85	14,92	10,05	7,35	5,66	4,65	3,65	3,00	2,47
11	27,37	14,33	9,98	7,24	5,39	4,40	3,55	2,92	2,47
12	26,42	14,24	9,57	6,87	5,25	4,39	3,44	2,79	2,32
13	26,25	14,27	9,45	6,74	5,28	4,23	3,31	2,74	2,21
14	27,50	14,24	9,14	6,85	5,04	4,01	3,33	2,66	2,17
15	26,17	13,84	8,90	6,74	5,06	3,90	3,23	2,59	2,20

Fonte: Autor.

As médias das DMSs do fator densidades de semeadura oscilaram entre 1785 e 387,3 kg ha<sup>-1</sup>, para o menor e o maior cenário utilizado, respectivamente (ou seja, duas repetições de um metro linear = 0,90 m<sup>2</sup> e dez repetições de quinze metros lineares = 67,50 m<sup>2</sup>, respectivamente). Da mesma forma que para o fator híbridos de milho, ao comparar cenários com mesma área ocupada pelo tratamento, nota-se que as maiores reduções da DMS foram conseguidas por meio do aumento do número de repetições, como por exemplo: 4,50 m<sup>2</sup> = DMS de 1077,7 kg ha<sup>-1</sup> (duas repetições de cinco metros lineares) e 778,2 kg ha<sup>-1</sup> (dez repetições de um metro linear); 14,40 m<sup>2</sup> = DMS de 675,7 kg ha<sup>-1</sup> (quatro repetições de oito metros lineares) e 547,2 kg ha<sup>-1</sup> (oito repetições de quatro metros lineares), e; 27,00 m<sup>2</sup> = DMS de 615,6 e 184,2

kg ha<sup>-1</sup> (quatro repetições de quinze metros lineares) e 446,2 kg ha<sup>-1</sup> (dez repetições de seis metros lineares) (Tabela 6).

Tabela 6 – Diferença mínima significativa (DMS) entre densidades de semeadura e respectivas amplitudes do intervalo de confiança (AIC<sub>95%</sub>) da DMS (em kg ha<sup>-1</sup>) da média geral de 3000 reamostras da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Média das 3000 reamostras da DMS entre densidades de semeadura (em kg ha <sup>-1</sup> )									
1	1785,0	1437,9	1242,8	1105,3	1009,0	932,6	872,4	821,4	778,2
2	1385,7	1113,8	957,4	856,2	778,5	720,3	672,9	634,7	601,5
3	1222,5	981,3	844,5	752,2	684,7	633,0	592,5	559,0	529,5
4	1134,9	905,9	779,5	695,9	633,8	585,9	547,2	517,3	489,3
5	1077,7	857,4	740,3	659,5	601,0	554,9	519,5	489,2	464,3
6	1032,9	826,3	710,9	633,6	577,6	534,7	499,5	470,4	446,2
7	998,7	801,4	688,5	615,3	560,5	518,3	484,6	456,8	432,6
8	981,2	783,9	675,7	601,2	547,1	505,5	472,8	445,3	422,5
9	956,5	767,1	659,8	588,7	537,5	496,2	464,6	436,5	414,6
10	940,3	756,0	650,5	579,3	527,8	488,9	456,4	430,2	408,2
11	923,8	747,5	641,9	571,5	521,3	481,3	450,3	424,5	402,9
12	923,7	738,1	634,7	563,4	515,5	476,7	444,4	419,3	397,7
13	909,6	728,8	626,9	559,0	510,3	471,0	440,4	415,4	393,4
14	901,3	722,9	623,5	555,4	505,6	467,5	436,8	411,4	390,5
15	896,6	717,8	615,6	550,9	502,2	463,6	433,2	408,8	387,3
AIC <sub>95%</sub> da DMS entre densidades de semeadura (em kg ha <sup>-1</sup> )									
1	1117,1	639,1	447,4	339,3	278,0	230,8	197,6	170,7	150,5
2	827,3	466,1	341,7	253,1	207,5	174,8	145,4	131,2	114,3
3	738,0	418,2	292,4	218,5	173,4	145,4	126,6	108,8	94,9
4	708,6	375,1	256,1	199,2	156,4	130,9	107,8	95,8	81,3
5	663,6	343,3	250,1	181,3	142,4	118,3	103,4	88,7	78,5
6	603,4	341,6	228,8	172,9	135,9	110,3	93,6	79,6	71,2
7	612,4	330,5	215,8	163,7	127,3	106,2	88,8	75,3	65,7
8	587,2	300,9	213,2	161,7	122,4	100,6	84,8	71,6	61,6
9	576,5	309,8	205,2	147,8	120,1	100,5	79,6	67,5	58,5
10	557,9	300,4	203,5	150,1	117,1	97,1	79,1	66,1	55,3
11	553,6	289,4	199,5	146,8	113,0	91,0	74,6	62,9	54,3
12	541,8	289,2	194,4	138,8	109,1	91,4	72,7	60,1	50,3
13	535,6	297,2	193,0	137,1	110,0	87,6	71,2	57,9	48,9
14	549,3	288,1	189,9	137,4	104,3	83,1	69,3	57,1	48,3
15	528,0	280,8	184,2	136,6	102,0	81,8	68,8	55,7	47,5

Fonte: Autor.

A variação da DMS em percentagem da média entre as densidades de semeadura foi pequena, oscilando entre 18,59 e 4,02%, para o menor e maior cenário, respectivamente. De modo que, precisões experimentais muito altas (LÚCIO; STORCK; BANZATTO, 1999) podem ser facilmente obtidas, por exemplo, por meio da utilização de pelo menos três repetições de cinco metros lineares (DMS = 8,91%; Área ocupada pelo tratamento = 6,75 m<sup>2</sup>), contudo, a utilização do cenário formado por cinco repetições de três metros lineares fornece maior precisão (DMS = 7,82%), sem alterar a área ocupada pelo tratamento (Tabela 7).

Tabela 7 – Diferença mínima significativa (DMS) entre densidades de semeadura em porcentagem da média de 3000 reamostras e amplitude do intervalo de confiança (AIC<sub>95%</sub>) em porcentagem da própria DMS da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DMS entre densidades de semeadura (em % da média)								
1	18,59	14,96	12,93	11,49	10,49	9,68	9,06	8,53	8,08
2	14,43	11,59	9,95	8,89	8,09	7,48	6,99	6,59	6,25
3	12,72	10,20	8,78	7,82	7,11	6,57	6,16	5,81	5,50
4	11,82	9,41	8,10	7,23	6,58	6,09	5,68	5,37	5,08
5	11,20	8,91	7,70	6,85	6,25	5,76	5,40	5,08	4,82
6	10,74	8,59	7,39	6,58	6,00	5,55	5,19	4,89	4,63
7	10,38	8,33	7,16	6,39	5,82	5,38	5,03	4,74	4,49
8	10,21	8,15	7,02	6,25	5,68	5,25	4,91	4,62	4,39
9	9,95	7,97	6,85	6,12	5,58	5,15	4,82	4,53	4,30
10	9,79	7,86	6,76	6,02	5,48	5,08	4,74	4,47	4,24
11	9,60	7,76	6,67	5,94	5,42	5,00	4,68	4,41	4,18
12	9,62	7,67	6,60	5,85	5,35	4,95	4,62	4,35	4,13
13	9,47	7,57	6,52	5,81	5,30	4,89	4,57	4,31	4,08
14	9,38	7,52	6,48	5,77	5,25	4,86	4,54	4,27	4,05
15	9,33	7,46	6,40	5,72	5,22	4,81	4,50	4,25	4,02
	AIC <sub>95%</sub> da DMS entre densidades de semeadura (em % da própria DMS)								
1	11,94	7,02	5,01	3,88	3,08	2,55	2,19	1,84	1,68
2	9,21	5,23	3,80	2,84	2,33	1,94	1,57	1,40	1,22
3	8,12	4,70	3,24	2,38	1,90	1,59	1,36	1,16	1,00
4	7,82	4,20	2,88	2,22	1,71	1,43	1,19	1,02	0,86
5	7,29	3,83	2,77	2,03	1,61	1,31	1,11	0,95	0,82
6	6,67	3,75	2,58	1,91	1,48	1,20	1,02	0,86	0,74
7	6,72	3,60	2,41	1,87	1,42	1,18	0,98	0,82	0,68
8	6,44	3,42	2,41	1,78	1,35	1,11	0,92	0,77	0,65
9	6,34	3,43	2,28	1,70	1,34	1,10	0,87	0,73	0,61
10	6,17	3,38	2,30	1,69	1,30	1,07	0,84	0,69	0,57
11	6,06	3,25	2,28	1,66	1,24	1,01	0,82	0,67	0,57
12	5,85	3,23	2,19	1,57	1,21	1,01	0,79	0,64	0,54
13	5,81	3,23	2,16	1,55	1,21	0,97	0,76	0,63	0,51
14	6,09	3,23	2,09	1,57	1,16	0,92	0,77	0,61	0,50
15	5,80	3,14	2,03	1,54	1,16	0,90	0,74	0,60	0,51

Fonte: Autor.

As DMSs do desdobramento do fator híbridos de milho dentro do fator densidades de semeadura oscilaram entre 11397,6 e 2373,3 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto as DMSs do desdobramento do fator densidades de semeadura dentro do fator híbridos de milho oscilaram entre 6435,9 e 1396,5 kg ha<sup>-1</sup>, para o maior e menor cenário, respectivamente (ou seja, duas repetições de um metro linear = 0,90 m<sup>2</sup> e dez repetições de quinze metros lineares = 67,50 m<sup>2</sup>, respectivamente) (Tabelas 8 e 10). Em ambos os casos, o aumento no número de repetições e tamanhos de parcela resultou em ganhos de precisão experimental por meio da redução da DMS e da AIC<sub>95%</sub> da DMS, logo, cenários com maior número de repetições e tamanhos de parcela possibilitam discriminar os efeitos dos desdobramentos das interações entre híbridos de milho e densidades de semeadura quanto a produtividade de grãos com maior precisão e, conseqüentemente, com

menores diferenças de produtividade. Ainda, observa-se que o desdobramento da interação entre densidades de semeadura e híbridos de milho resultou em menores DMSs, indicando a necessidade de menores variações na produtividade de grãos para discriminar e recomendar densidades de semeadura.

Tabela 8 – Diferença mínima significativa (DMS) do desdobramento do fator híbridos de milho dentro do fator densidades de semeadura e respectivas amplitudes do intervalo de confiança ( $AIC_{95\%}$ ) da DMS (em  $kg\ ha^{-1}$ ) da média de 3000 reamostras da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Média das 3000 reamostras para a DMS da interação entre híbrido e densidades (em $kg\ ha^{-1}$ )									
1	11397,6	8975,5	7697,2	6818,0	6208,9	5729,9	5353,9	5036,4	4768,1
2	8847,9	6952,4	5929,3	5281,3	4791,0	4425,3	4129,5	3892,0	3685,5
3	7806,0	6125,1	5230,4	4640,1	4213,6	3888,8	3635,8	3427,6	3244,4
4	7246,8	5654,4	4827,3	4292,9	3900,5	3599,6	3358,2	3171,6	2998,0
5	6881,4	5351,6	4584,9	4068,0	3698,6	3409,3	3188,2	2999,7	2844,8
6	6595,5	5157,7	4402,7	3908,8	3554,3	3284,9	3065,1	2884,1	2734,1
7	6376,9	5002,3	4263,9	3795,3	3449,4	3184,2	2973,9	2800,8	2650,6
8	6265,4	4893,2	4185,0	3708,3	3366,5	3105,8	2901,3	2730,2	2588,6
9	6107,7	4788,2	4086,4	3631,6	3307,8	3048,5	2850,9	2676,5	2540,2
10	6003,8	4719,2	4028,4	3573,4	3248,1	3003,6	2801,1	2637,6	2501,1
11	5898,6	4665,6	3975,5	3525,2	3208,0	2956,9	2763,3	2602,5	2468,8
12	5898,3	4607,1	3930,7	3475,6	3172,2	2928,7	2727,4	2570,8	2437,1
13	5807,9	4549,2	3882,5	3448,4	3140,1	2894,0	2702,8	2547,3	2410,5
14	5754,8	4512,5	3861,4	3425,9	3111,6	2872,1	2680,5	2522,2	2392,6
15	5725,1	4480,7	3812,6	3398,2	3090,8	2848,6	2658,7	2506,3	2373,3
$AIC_{95\%}$ da DMS da interação entre híbridos e densidades (em $kg\ ha^{-1}$ )									
1	7133,0	3989,3	2771,0	2093,1	1710,5	1417,7	1212,6	1046,4	922,1
2	5282,5	2909,4	2116,1	1561,1	1276,9	1073,7	892,2	804,6	700,6
3	4712,3	2610,4	1810,7	1348,0	1067,3	893,5	777,0	667,0	581,6
4	4524,9	2341,6	1586,0	1229,1	962,5	804,1	661,7	587,2	498,4
5	4237,0	2142,8	1548,9	1118,5	876,2	727,0	634,3	544,2	481,3
6	3852,7	2132,1	1417,2	1066,3	836,4	677,9	574,3	488,1	436,5
7	3910,1	2062,9	1336,4	1009,7	783,3	652,7	544,9	461,8	402,5
8	3749,3	1878,2	1320,7	997,3	753,2	618,0	520,2	439,2	377,4
9	3681,3	1934,1	1271,1	912,0	739,1	617,4	488,3	413,7	358,5
10	3562,3	1875,0	1260,1	925,7	720,4	596,7	485,2	405,2	338,7
11	3534,6	1806,6	1235,6	905,6	695,4	559,2	457,5	385,5	332,7
12	3459,3	1805,0	1204,2	856,0	671,5	561,3	445,9	368,8	308,1
13	3419,6	1855,4	1195,2	845,5	677,2	538,4	436,9	355,3	299,5
14	3507,2	1798,3	1175,9	847,8	641,8	510,7	425,1	350,2	295,8
15	3371,4	1752,7	1140,7	842,7	627,4	502,5	422,4	341,7	291,1

Fonte: Autor.

As DMSs percentuais do desdobramento entre híbridos de milho e densidade de semeadura oscilaram entre 118,70 e 24,64%, para o menor e maior cenário utilizado, respectivamente. Nessa perspectiva, a utilização de apenas alguns dos cenários que resultam

em precisão experimental média ( $25,5 < \text{DMS} (\%) \leq 48,5$ ) são viáveis para uso em virtude da área ocupada pelo tratamento (Tabela 9).

Tabela 9 – Diferença mínima significativa (DMS) do desdobramento do fator híbridos de milho dentro do fator densidades de semeadura em porcentagem da média de 3000 reamostras e amplitude do intervalo de confiança ( $\text{AIC}_{95\%}$ ) da DMS percentual da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DMS da interação entre híbridos e densidades (em % da média)								
1	118,70	93,38	80,06	70,86	64,53	59,49	55,63	52,31	49,51
2	92,17	72,33	61,59	54,85	49,78	45,97	42,88	40,42	38,27
3	81,22	63,68	54,38	48,22	43,76	40,38	37,78	35,60	33,70
4	75,46	58,73	50,14	44,58	40,51	37,41	34,88	32,94	31,13
5	71,53	55,63	47,67	42,28	38,44	35,40	33,12	31,15	29,54
6	68,59	53,61	45,77	40,61	36,91	34,12	31,82	29,96	28,39
7	66,27	52,01	44,32	39,43	35,84	33,07	30,89	29,08	27,52
8	65,18	50,88	43,49	38,53	34,97	32,25	30,13	28,35	26,88
9	63,54	49,78	42,45	37,74	34,35	31,67	29,60	27,79	26,37
10	62,48	49,06	41,85	37,12	33,73	31,19	29,09	27,39	25,97
11	61,29	48,46	41,30	36,62	33,34	30,72	28,69	27,02	25,64
12	61,44	47,88	40,87	36,12	32,95	30,41	28,33	26,70	25,31
13	60,47	47,28	40,35	35,83	32,61	30,06	28,07	26,45	25,03
14	59,88	46,95	40,15	35,58	32,32	29,83	27,83	26,19	24,84
15	59,54	46,56	39,62	35,30	32,11	29,58	27,61	26,03	24,64
	$\text{AIC}_{95\%}$ da DMS entre híbridos e densidades (em % da própria DMS)								
1	76,25	43,83	31,00	23,92	18,93	15,64	13,43	11,31	10,29
2	58,83	32,66	23,54	17,52	14,32	11,92	9,66	8,60	7,47
3	51,85	29,32	20,04	14,66	11,67	9,75	8,35	7,12	6,14
4	49,93	26,22	17,82	13,67	10,50	8,76	7,31	6,23	5,29
5	46,57	23,92	17,15	12,53	9,89	8,05	6,84	5,83	5,02
6	42,57	23,43	15,99	11,79	9,13	7,38	6,25	5,27	4,53
7	42,91	22,47	14,92	11,54	8,73	7,23	6,00	5,01	4,17
8	41,12	21,35	14,95	11,00	8,31	6,84	5,64	4,75	3,98
9	40,51	21,38	14,15	10,52	8,24	6,77	5,36	4,49	3,74
10	39,39	21,11	14,22	10,39	8,01	6,58	5,16	4,25	3,49
11	38,71	20,27	14,12	10,25	7,62	6,23	5,02	4,13	3,50
12	37,37	20,14	13,53	9,71	7,43	6,21	4,87	3,94	3,29
13	37,13	20,18	13,37	9,53	7,47	5,98	4,68	3,87	3,12
14	38,89	20,13	12,92	9,68	7,13	5,67	4,71	3,76	3,07
15	37,02	19,58	12,58	9,53	7,15	5,51	4,57	3,67	3,10

Fonte: Autor.

Tabela 10 – Diferença mínima significativa (DMS) do desdobramento do fator densidades de semeadura dentro do fator híbridos de milho e respectivas amplitudes do intervalo de confiança ( $AIC_{95\%}$ ) da DMS (em  $kg\ ha^{-1}$ ) da média de 3000 reamostras da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Média das 3000 reamostras para a DMS da interação entre densidades e híbridos (em $kg\ ha^{-1}$ )									
1	6435,9	5184,5	4481,1	3985,1	3637,8	3362,6	3145,6	2961,6	2805,7
2	4996,1	4015,9	3451,9	3086,9	2807,1	2597,0	2426,2	2288,6	2168,7
3	4407,8	3538,0	3045,0	2712,2	2468,8	2282,2	2136,1	2015,6	1909,1
4	4092,1	3266,1	2810,3	2509,2	2285,3	2112,4	1973,1	1865,0	1764,1
5	3885,7	3091,2	2669,2	2377,7	2167,0	2000,7	1873,1	1763,9	1674,0
6	3724,3	2979,3	2563,1	2284,7	2082,5	1927,7	1800,8	1696,0	1608,8
7	3600,9	2889,5	2482,3	2218,4	2021,0	1868,6	1747,2	1647,0	1559,7
8	3537,9	2826,5	2436,4	2167,5	1972,5	1822,7	1704,6	1605,4	1523,2
9	3448,8	2765,8	2379,0	2122,7	1938,0	1789,0	1675,0	1573,9	1494,7
10	3390,2	2725,9	2345,2	2088,6	1903,1	1762,7	1645,7	1551,0	1471,7
11	3330,8	2695,0	2314,4	2060,5	1879,6	1735,2	1623,5	1530,4	1452,7
12	3330,6	2661,2	2288,4	2031,5	1858,6	1718,7	1602,4	1511,7	1434,0
13	3279,5	2627,7	2260,3	2015,6	1839,8	1698,4	1588,0	1497,9	1418,4
14	3249,5	2606,5	2248,0	2002,4	1823,1	1685,5	1574,8	1483,1	1407,9
15	3232,8	2588,2	2219,6	1986,2	1810,9	1671,7	1562,1	1473,8	1396,5
$AIC_{95\%}$ da DMS da interação entre densidades e híbridos (em $kg\ ha^{-1}$ )									
1	4027,8	2304,3	1613,2	1223,4	1002,2	832,0	712,4	615,3	542,6
2	2982,9	1680,5	1231,9	912,4	748,1	630,1	524,2	473,1	412,2
3	2660,9	1507,8	1054,2	787,9	625,3	524,4	456,5	392,2	342,2
4	2555,1	1352,6	923,3	718,4	563,9	471,9	388,8	345,3	293,3
5	2392,5	1237,7	901,8	653,8	513,3	426,7	372,7	320,0	283,2
6	2175,5	1231,5	825,1	623,2	490,0	397,9	337,4	287,0	256,9
7	2207,9	1191,6	778,0	590,2	458,9	383,0	320,1	271,5	236,8
8	2117,1	1084,9	768,9	582,9	441,3	362,6	305,6	258,2	222,1
9	2078,7	1117,2	740,0	533,1	433,0	362,3	286,9	243,3	210,9
10	2011,5	1083,1	733,6	541,1	422,1	350,2	285,0	238,3	199,3
11	1995,9	1043,5	719,3	529,3	407,5	328,2	268,8	226,7	195,8
12	1953,4	1042,6	701,1	500,3	393,5	329,4	262,0	216,8	181,3
13	1931,0	1071,7	695,8	494,2	396,8	315,9	256,7	208,9	176,3
14	1980,4	1038,8	684,6	495,6	376,1	299,7	249,8	205,9	174,1
15	1903,7	1012,4	664,1	492,6	367,6	294,9	248,2	200,9	171,3

Fonte: Autor.

Por outro lado, as DMSs percentuais do desdobramento entre densidades de semeadura e híbridos de milho oscilaram entre 67,03 e 14,50%, para o menor e maior cenário, respectivamente (Tabela 11). Dessa forma, tem-se maior poder de escolha quanto ao cenário a ser utilizado para se obter alta precisão experimental para a discriminação da produtividade de grãos.

Tabela 11 – Diferença mínima significativa (DMS) do desdobramento do fator densidades de semeadura dentro do fator híbridos de milho em porcentagem da média de 3000 reamostras e amplitude do intervalo de confiança ( $AIC_{95\%}$ ) da DMS percentual da produtividade de grãos em 135 cenários de combinações entre número de repetições e tamanhos de parcela.

Tamanho de parcela (m linear)	Número de repetições								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DMS da interação entre densidades e híbridos (em % da média)									
1	67,03	53,94	46,61	41,42	37,81	34,91	32,68	30,76	29,14
2	52,05	41,78	35,86	32,06	29,17	26,98	25,20	23,77	22,52
3	45,86	36,78	31,66	28,18	25,64	23,70	22,20	20,94	19,83
4	42,61	33,93	29,19	26,05	23,73	21,95	20,49	19,37	18,32
5	40,39	32,13	27,75	24,71	22,52	20,78	19,46	18,32	17,38
6	38,73	30,97	26,65	23,74	21,63	20,02	18,70	17,62	16,70
7	37,42	30,04	25,80	23,05	21,00	19,41	18,15	17,10	16,19
8	36,80	29,39	25,32	22,52	20,49	18,92	17,70	16,67	15,82
9	35,88	28,75	24,72	22,06	20,13	18,58	17,39	16,34	15,52
10	35,28	28,34	24,37	21,70	19,76	18,30	17,09	16,11	15,28
11	34,61	27,99	24,04	21,40	19,53	18,03	16,86	15,89	15,09
12	34,70	27,66	23,79	21,11	19,31	17,85	16,64	15,70	14,89
13	34,14	27,31	23,49	20,94	19,11	17,64	16,49	15,55	14,73
14	33,81	27,12	23,38	20,80	18,94	17,51	16,35	15,40	14,62
15	33,62	26,89	23,06	20,63	18,81	17,36	16,22	15,31	14,50
$AIC_{95\%}$ da DMS da interação entre densidades e híbridos (em % da própria DMS)									
1	43,05	25,32	18,05	13,98	11,09	9,18	7,89	6,65	6,05
2	33,22	18,87	13,71	10,24	8,39	6,99	5,68	5,06	4,39
3	29,28	16,93	11,67	8,57	6,84	5,72	4,91	4,19	3,61
4	28,19	15,14	10,37	7,99	6,15	5,14	4,30	3,66	3,11
5	26,30	13,82	9,98	7,32	5,79	4,72	4,02	3,43	2,95
6	24,04	13,54	9,31	6,89	5,35	4,33	3,67	3,10	2,67
7	24,23	12,98	8,69	6,75	5,11	4,24	3,53	2,95	2,46
8	23,22	12,33	8,70	6,43	4,87	4,02	3,32	2,79	2,34
9	22,88	12,35	8,24	6,15	4,83	3,98	3,15	2,64	2,20
10	22,24	12,19	8,28	6,08	4,69	3,86	3,03	2,50	2,05
11	21,86	11,71	8,22	5,99	4,47	3,65	2,95	2,43	2,06
12	21,10	11,63	7,88	5,68	4,35	3,64	2,86	2,32	1,93
13	20,96	11,66	7,78	5,57	4,38	3,51	2,75	2,28	1,84
14	21,96	11,63	7,52	5,66	4,18	3,33	2,77	2,21	1,81
15	20,90	11,31	7,32	5,57	4,19	3,23	2,68	2,16	1,83

Fonte: Autor.

Estudos visando determinar o número de repetições adequado para avaliação de culturas agrícolas têm sido realizados ao longo dos anos, de modo que, foram recomendadas a utilização de três a quatro repetições para a avaliação da produtividade de grãos de milho (CARGNELUTTI FILHO; STORCK; GUADAGNIN, 2010), entretanto, à medida que se tornou evidente os ganhos de precisão experimental conferidos pelo número crescente de repetições (STORCK et al., 2016), a utilização de pelo menos seis repetições tem sido recomendada (RESENDE; DUARTE, 2007; CARGNELUTTI FILHO et al., 2018; CARGNELUTTI FILHO; TOEBE, 2020).

Nessa perspectiva, cenários com mesma área ocupada pelo tratamento ( $10,80 \text{ m}^2$ ) mas diferentes quanto ao número de repetições e tamanho de parcela podem ser comparados. Dessa forma, caso a discriminação de híbridos de milho quanto a produtividade de grãos for realizada utilizando o cenário formado por seis repetições de quatro metros lineares, teríamos uma DMS de  $2758,1 \text{ kg ha}^{-1}$  ou de 28,64% da média geral, enquanto que utilizando oito repetições de três metros lineares, esses valores seriam iguais a  $2570,9 \text{ kg ha}^{-1}$  ou 26,71% da média geral, respectivamente (Tabelas 4 e 5). Da mesma forma, a discriminação de densidades de semeadura quanto a produtividade de grãos seria realizada sob DMS de  $633,8 \text{ kg ha}^{-1}$  ou 6,58% da média geral ao utilizar seis repetições de quatro metros lineares, enquanto que utilizando oito repetições com três metro lineares a DMS seria de  $592,5 \text{ kg ha}^{-1}$  ou 6,16% da média geral (Tabelas 6 e 7).

Em geral, a utilização de cenários formados por oito repetições associados a tamanhos de parcela que resultem em baixas DMS e  $\text{AIC}_{95\%}$  da DMS, além de pequena área ocupada pelo tratamento, devem ser consideradas durante o planejamento experimental, sendo estas, recomendadas para avaliar a produtividade de grãos de híbridos de milho sob densidades de semeadura.

Nesse sentido, a utilização do cenário formado por oito repetições de quatro metros lineares é encorajada para avaliar a produtividade de grãos de híbridos de milho sob densidades de semeadura. Visto que, a sua utilização resulta em  $\text{AIC}_{95\%}$  de aproximadamente 5% para discriminar a produtividade de grãos, bem como, DMS de  $2374,6 \text{ kg ha}^{-1}$  ou 24,66% da média geral (ou seja, precisão experimental alta) para discriminar híbridos de milho quanto a produtividade de grãos, além de DMS de  $547,2 \text{ kg ha}^{-1}$  ou de 5,68% da média geral (ou seja, precisão experimental muito alta) para discriminar densidades de semeadura quanto a produtividade de grãos. Tudo isso, necessitando de apenas  $14,40 \text{ m}^2$  de área para cada um dos tratamentos a serem testados.

#### 4.6 CONCLUSÃO

O aumento do número de repetições e do tamanho de parcelas promove ganhos de precisão experimental por meio da redução da diferença mínima significativa e a amplitude do intervalo de confiança.

O aumento do número de repetições resulta em ganhos mais expressivos de precisão experimental do que o aumento do tamanho de parcela.

A utilização de oito repetições de quatro metros lineares (14,40 m<sup>2</sup>) é suficiente para avaliar a produtividade de grãos de híbridos de milho em densidades de semeadura com alta precisão experimental.

#### 4.6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ASSEFA, Y. et al. Yield Responses to Planting Density for US Modern Corn Hybrids: A Synthesis-Analysis. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2802-2817, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0215>

BANZATTO, David Ariovaldo; KRONKA, Sérgio do Nascimento. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2013.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Number of replicates and experimental precision statistics in corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1213-1221, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001100003>

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Precisão experimental relacionada a tamanhos de parcelas, números de tratamentos e repetições em nabo forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 6, p. 428-439, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000700007>

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra de caracteres de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 635-642, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300007>

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1363-1371, 2010a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200005>

CARGNELUTTI FILHO, A., et al. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 336-343, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000300004>

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 17-24, 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 111-117, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000200001>

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; GUADAGNIN, J. P. Número de repetições para a comparação de cultivares de milho. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1023-1030, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000073>

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M. Reference sample size for multiple regression in corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p. 1-11, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01400>

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M. Sample size for principal component analysis in corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02510>

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M. Sufficient number of replicates for estimation of dissimilarity measures among maize cultivars. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, p. 1-14, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.2020.v19.e1181>

CASLER, M. D. Fundamentals of Experimental Design: Guidelines for Designing Successful Experiments. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 692-705, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0114>

CONFALONIERI, R. et al. Analysis of sample size for variables related to plant, soil, and soil microbial respiration in a paddy rice field. **Field Crops Research**, v. 113, n. 2, p. 125-130, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.014>

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4. Ed. Viçosa: UFV, 2012.

DOCHTERMANN, N. A.; JENKINS, S. H. Multivariate Methods and Small Sample Sizes. **Ethology**, v. 117, n. 2, p. 95-101, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2010.01846.x>

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOStat**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 12 dez. 2022.

MENDOZA, R. G.; BUITRAGO, I. C. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. **Agronomía Mesoamericana**, v. 26, n. 1, p. 55-63, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16920>

LI, G. et al. Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. **Agricultural Water Management**, v. 227, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105834>

LI, J. et al. Variations in maize dry matter, harvest index, and grain yield with plant density. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 3, p. 1-6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0522>

LÚCIO, A. D. C.; STORCK, L. Relação entre diferença mínima significativa e coeficiente de variação nos ensaios de competição de cultivares. **Ciência Rural**, v. 28, n. 2, p. 225-228, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781998000200007>

LÚCIO, A. D. Parâmetros da precisão experimental das principais culturas anuais do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 27, n. 3, p. 530-531, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781997000300029>

- LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; BANZATTO, D. A. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 5, n. 1, p. 99-103, 1999.
- MASINO, A. et al. Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. **European Journal of Agronomy**, v. 98, p. 14-24, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.02.006>
- OLIVEIRA, L. A.; MIRANDA, J. H.; COOKE, R. A. C. Water management for sugarcane and corn under future climate scenarios in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 199-206, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.019>
- PIMENTEL-GOMES, Frederico. **The variation index, an advantageous substitute for the variation coefficient**. Piracicaba: IPEF, 1991.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- RAMALHO, Magno Antonio Patto; FERREIRA, Daniel Furtado; OLIVEIRA, Antônio Carlos de. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2012.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- SANGOI, L. et al. Maize agronomic performance as affected by seed treatment with *Azospirillum* sp. and mineral nitrogen rates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1141-1150, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140736>
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.
- SOUZA, R. R. et al. Soybean yield variability per plant in subtropical climate: sample size definition and prediction models for precision statistics. **European Journal of Agronomy**, v. 136, p. 1-20, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126489>
- STORCK, L. et al. **Experimentação Vegetal**. 3. Ed. Santa Maria: UFSM, 2016.
- TESTA, G.; REYNERI, A.; BLANDINO, M. Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. **European Journal of Agronomy**, v. 72, p. 28-37, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.006>
- TOEBE, M. et al. Dimensionamento amostral para estimação de coeficientes de correlação em híbridos de milho, safras e níveis de precisão. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p.16-24, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0324>
- TOEBE, M. et al. Plot size and replications number for triticale experiments. **Ciência Rural**, v. 50, n. 11, p. 1-5, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200222>

TOEBE, M. et al. Sample size for estimation of direct effects in path analysis of corn. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-23, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16029523>

TOEBE, M. et al. Tamanho de amostra para estimação da média e do coeficiente de variação em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 11, p. 860-871, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100005>

TSIMBA, R. et al. The effect of planting date on maize grain yields and yield components. **Field Crops Research**, v. 150, p. 135-144, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.028>

VAN ROEKEL, R. J.; COULTER, J. A. Agronomic responses of corn hybrids to row width and plant density. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 3, p. 612-620, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0380>

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, os híbridos de milho utilizados apresentam potencial para cultivo em densidades acima das quais são recomendados, visto que, na maioria dos casos a utilização da densidade de 88889 plantas ha<sup>-1</sup> resultou na maior produtividade de grãos, superando a produtividade média estadual e nacional da safra 2020/21. Contudo, como foram utilizadas apenas duas densidades de semeadura, não foi possível definir uma densidade ótima geral e individual para estes, dessa forma, a realização de estudos para definir a densidade ótima de semeadura são encorajados.

Sabe-se que a precisão experimental relaciona-se diretamente ao número de repetições e tamanho de parcelas utilizado, de modo que, a utilização de um número crescente destes confere alta precisão experimental e confiabilidade as estimativas. Entretanto, dada a grande influência do número de repetições sobre a qualidade da média, seu aumento resulta em maiores ganhos de precisão do que o aumento do tamanho das parcelas. Dessa forma, a utilização de um maior número de repetições tem sido recomendada por diversos pesquisadores.

A reamostragem com reposição foi eficiente para determinar o tamanho de parcela e número de repetições adequado, para avaliar a produtividade de grãos em híbridos e densidades de semeadura em milho. A utilização de diferentes cenários de combinação entre tamanho de parcela e número de repetições possibilitou comparar os resultados e realizar a escolha do melhor cenário, levando em consideração a área ocupada pelo tratamento e o nível de precisão alcançado com sua utilização. Dessa forma, o uso da reamostragem para determinar o tamanho de parcelas e o número de repetições adequado para avaliar outras variáveis e culturas é sugerido, principalmente, em virtude da atual capacidade de processamento de dados e da disponibilidade de softwares estatísticos gratuitos capazes de realizar tal procedimento.

## 6 CONCLUSÃO GERAL

A densidade de 88889 plantas ha<sup>-1</sup> mostrou-se mais adequada ao cultivo dos híbridos utilizados na região do Médio Alto Uruguai do Rio Grande do Sul, visto que, promoveu a obtenção de maiores produtividades de grãos.

De modo geral, os híbridos NS 80 VIP3, B2401 PWU, NS 73 VIP3, P3565 PWU e P3016 VYHR mostram-se mais produtivos que os demais perante as condições de estudo, sendo assim, sugerido o cultivo destes em condições semelhantes às do estudo.

O aumento do número de repetições e do tamanho de parcelas mostrou-se eficiente na redução da diferença mínima significativa e da amplitude do intervalo de confiança.

O aumento do número de repetições resulta em ganhos mais expressivos de precisão experimental do que o aumento do tamanho de parcela.

A utilização de oito repetições de quatro metros lineares é suficiente para avaliar a produtividade de grãos de híbridos de milho em densidades de semeadura com alta precisão experimental.

A utilização de reamostragem com reposição foi eficiente para determinar o melhor cenário de número de repetições e tamanho de amostra para avaliação da produtividade de grãos de híbridos de milho sob densidades de semeadura.

## REFERÊNCIAS

- ASSEFA, Y. et al. Analysis of long term study indicates both agronomic optimal plant density and increase maize yield per plant contributed to yield gain. **Scientific Reports**, v. 8, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23362-x>
- ASSEFA, Y. et al. Dryland and Irrigated Corn Yield with Climate, Management, and Hybrid Changes from 1939 through 2009. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 2, p. 473-482, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0242>
- ASSEFA, Y. et al. Yield Responses to Planting Density for US Modern Corn Hybrids: A Synthesis-Analysis. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2802-2817, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0215>
- AWIKA, Joseph M. Major cereal grains production and use around the world. *In*: AWIKA, J. M.; PIIRONEN, V.; BEAN, S. (Eds.). **Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion**. American Chemical Society, 2011. p. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>
- BANZATTO, David Arioaldo; KRONKA, Sérgio do Nascimento. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2013.
- BRUNELLI, A. A synopsis of resampling techniques. **Journal of Thoracic Disease**, v. 6, n. 12, p. 1879-1882, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2014.09.09>
- BURIN, C. et al. Plot size and number of replicates in times of sowing and cuts of millet. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 119-127, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n2p119-127>
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Dimensionamento amostral para a estimação da média e da mediana de caracteres de linho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5492>
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Number of replicates and experimental precision statistics in corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1213-1221, 2018c. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001100003>
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Plot size and number of repetitions in black oat. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, p. 1732-1739, 2014b. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131466>
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Plot size related to numbers of treatments and replications, and experimental precision in dwarf pigeon pea. **Bragantia**, v. 77, n. 2, p. 212-220, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017085>
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Precisão experimental relacionada a tamanhos de parcelas, números de tratamentos e repetições em nabo forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 6, p. 428-439, 2014a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000700007>

- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra de caracteres de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 635-642, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300007>
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1363-1371, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200005>
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de parcela e número de repetições em ervilha forrageira. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1174-1182, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141043>
- CARGNELUTTI FILHO, A., et al. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 336-343, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000300004>
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M. Reference sample size for multiple regression in corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01400>
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M. Sample size for canonical correlation analysis in corn. **Bragantia**, v. 81, p. 1-14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210335>
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M. Sample size for principal component analysis in corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02510>
- CHAVES, G. G. et al. Plot size and number of replications for evaluation of the yield of grains in cultivars and dates of sowing of rye. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 1, p. 122-132, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n1p122>
- CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. **Field Crops Research**, v. 133, n. 11, p. 48-67, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008>
- CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Understanding Global and Historical Nutrient Use Efficiencies for Closing Maize Yield Gaps. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2107-2117, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0025>
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra – Série Histórica dos Grãos**. 2022. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 26 set. 2022.
- CONFALONIERI, R. et al. Analysis of sample size for variables related to plant, soil, and soil microbial respiration in a paddy rice field. **Field Crops Research**, v. 113, n. 2, p. 125-130, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.014>
- DOCHTERMANN, N. A.; JENKINS, S. H. Multivariate Methods and Small Sample Sizes. **Ethology**, v. 117, n. 2, p. 95-101, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2010.01846.x>

EFRON, Bradley. Bootstrap methods: another look at the jackknife. *In*: KOTZ, S.; JOHNSON, N. L. (Eds). **Breakthroughs in Statistics. Springer Series in Statistics**. Springer, 1992. p. 569-593. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9\\_41](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_41)

ERENSTEIN, O. et al. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Food Security**, v. 14, p. 1295-1319, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOStat**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 26 set. 2022.

FERREIRA, Daniel Furtado. **Estatística básica**. 2. Ed. Lavras: UFLA, 2009.

GARCÍA-LARA, S.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Corn History and Culture. *In*: Serna-Saldivar, S. O. (Ed.). **Corn (Third Edition)**. AACC International Press, 2019. p. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>

HAARHOFF, S. J.; SWANEPOEL, P. A. Plant Population and Maize Grain Yield: A Global Systematic Review of Rainfed Trials. **Crop Science**, v. 58, n. 5, p. 1819-1829, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0003>

HERRMANN, C.; IDLER, C.; HEIERMANN, M. Improving aerobic stability and biogas production of maize silage using silage additives. **Bioresource Technology**, v. 197, p. 393-403, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.114>

KENNETT, D. J. et al. Early isotopic evidence for maize as a staple grain in the Americas. **Science Advances**, v. 6, n. 23, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba3245>

LAVEZO, A. et al. Plot size and number of replications to evaluate the grain yield in oat cultivars. **Bragantia**, v. 76, n. 4, p. 512-520, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2016.410>

LI, G. et al. Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. **Agricultural Water Management**, v. 227, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105834>

LI, J. et al. Variations in maize dry matter, harvest index, and grain yield with plant density. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 3, p. 1-6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0522>

LÚCIO, A. D. et al. Tamanho de amostra e parcela para variáveis de crescimento e produtivas de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 660-668, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000400016>

NUSS, E. T.; TANUMIHARDJO, S. A. Maize: A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 4, p. 417-436, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00117.x>

- PARANAÍBA, P. F.; FERREIRA, D. F.; MORAIS, A. R. Optimum experimental plot size: Proposition of estimation methods. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 27, n. 2, p. 255-268, 2009.
- PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.
- RAMALHO, Magno Antonio Patto; FERREIRA, Daniel Furtado; OLIVEIRA, Antônio Carlos de. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2012.
- RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1312, n. 1, p. 105-112, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
- SANGOI, L. et al. Maize agronomic performance as affected by seed treatment with *Azospirillum* sp. and mineral nitrogen rates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1141-1150, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140736>
- SCHWALBERT, R. et al. Corn Yield Response to Plant Density and Nitrogen: Spatial Models and Yield Distribution. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 3, p. 970-982, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0425>
- SILVA, L. F. O. et al. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Revista Ceres**, v. 59, n. 5, p. 624-629, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500007>
- SOUZA, R. R. et al. Soybean yield variability per plant in subtropical climate: sample size definition and prediction models for precision statistics. **European Journal of Agronomy**, v. 136, p. 1-20, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126489>
- STORCK, L. et al. **Experimentação Vegetal**. 3. Ed. Santa Maria: UFSM, 2016.
- SZARESKI, V. J. et al. Interrelations of Characters and Multivariate Analysis in Corn. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n; 2, p. 187-194, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n2p187>
- TESTA, G.; REYNERI, A.; BLANDINO, M. Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. **European Journal of Agronomy**, v. 72, p. 28-37, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.006>
- TOEBE, M. et al. Dimensionamento amostral para estimação de coeficientes de correlação em híbridos de milho, safras e níveis de precisão. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p.16-24, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0324>
- TOEBE, M. et al. Plot size and number of replications for ryegrass experiments. **Ciência Rural**, v. 50, n. 1, p. 1-8, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190195>
- TOEBE, M. et al. Plot size and replications number for triticale experiments. **Ciência Rural**, v. 50, n. 11, p. 1-5, 2020b. DOI: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200222>

TOEBE, M. et al. Sample size for estimating mean and coefficient of variation in species of crotalarias. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 90, n. 2, p. 1705-1715, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170813>

TOEBE, M. et al. Sample size for estimation of direct effects in path analysis of corn. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-23, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16029523>

TOEBE, M. et al. Tamanho de amostra para estimação da média e do coeficiente de variação em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 11, p. 860-871, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100005>

USDA – United States Department of Agriculture. **PSED Production, Supply and Distribution**. 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/topCountriesByCommodity>. Acesso em: 26 set. 2022.

VAN ROEKEL, R. J.; COULTER, J. A. Agronomic responses of corn hybrids to row width and plant density. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 3, p. 612-620, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0380>

WALLINGTON, T. J. et al. Corn ethanol production, food exports, and indirect land use change. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 11, p. 6379-6384, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1021/es300233m>