

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

**Ismael Mario Marcio Neu**

**TAMANHO DE AMOSTRA PARA AVALIAR A  
MULTICOLINEARIDADE EM CARACTERES DE CULTIVARES DE  
CENTEIO**

Santa Maria, RS, Brasil  
2019

**Ismael Mario Marcio Neu**

**TAMANHO DE AMOSTRA PARA AVALIAR A  
MULTICOLINEARIDADE EM CARACTERES DE CULTIVARES DE  
CENTEIO**

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

**Orientador:** Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho

Santa Maria, RS, Brasil  
2019

Neu, Ismael Mario Marcio

Tamanho de amostra para avaliar a multicolinearidade em caracteres de cultivares de centeio / Ismael Mario Marcio Neu.- 2019.

77 p.; 30 cm

Orientador: Alberto Cargnelutti Filho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Agronomia, RS, 2019

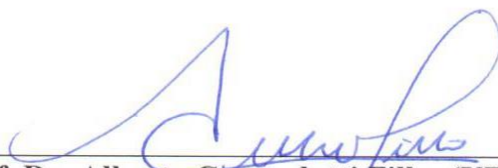
1. Cereal de inverno 2. Reamostragem 3. Análise multivariada 4. Multicolinearidade I. Cargnelutti Filho, Alberto II. Título.

Ismael Mario Marcio Neu

**TAMANHO DE AMOSTRA PARA AVALIAR A MULTICOLINEARIDADE EM  
CARACTERES DE CULTIVARES DE CENTEIO**


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

**Aprovado em 21 de fevereiro de 2019:**



---

**Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



---

**Prof. Dr. Marcos Toebe (UFSM)**



---

**Prof. Dr. Lindolfo Storck**

## **AGRADECIMENTOS**

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

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de mestrado.

A minha família, em especial aos meus pais, Ildemar e Claudete, irmãs Adriana e Júlia e namorada Fabiane, pelo constante incentivo, apoio, amor, carinho e por tudo que fizeram e que são na minha vida.

Ao meu orientador Alberto Cargnelutti Filho, pela orientação deste trabalho e pela preocupação no meu crescimento pessoal.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos ensinamentos para o meu aperfeiçoamento e aos professores membros da banca, pelas sugestões de melhoria ao trabalho.

Ao Departamento de Fitotecnia e aos funcionários, pela estrutura para condução dos experimentos e apoio nas atividades de campo e administrativas.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Experimentação e Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela parceria e amizade.

A todos demais familiares, professores, pesquisadores e amigos que me apoiaram e contribuíram, direta ou indiretamente, na realização desse trabalho.

A todos, meu sincero,

Muito Obrigado!

## RESUMO

### TAMANHO DE AMOSTRA PARA AVALIAR A MULTICOLINEARIDADE EM CARACTERES DE CULTIVARES DE CENTEIO

AUTOR: Ismael Mario Marcio Neu

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho

O objetivo deste trabalho foi determinar o tamanho de amostra (número de plantas) necessário para a estimação dos indicadores do grau de multicolinearidade - número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*) - em matrizes de coeficientes de correlação entre caracteres de cultivares de centeio, e verificar a variabilidade do tamanho de amostra entre indicadores. Os experimentos foram conduzidos em Santa Maria, Rio Grande do Sul, em cinco épocas de semeadura para a cultivar BRS Progresso e três épocas de semeadura para a cultivar Temprano, totalizando oito ensaios de uniformidade. Em cada ensaio de uniformidade, foram coletadas, aleatoriamente, 100 plantas e avaliados oito caracteres morfológicos e sete caracteres produtivos. Foram formados casos de estudo pela combinação de caracteres, sendo 22 com os caracteres morfológicos e 21 com os produtivos. Para cada caso, foram planejados 197 tamanhos de amostra e, dentro destes, foram obtidas as estimativas de médias de 2.000 reamostragens, com reposição, do grau de multicolinearidade considerando os três indicadores (*NC*, *DET* e *FIV*). Após, para cada caso, com base nas 197 estimativas de médias, foram ajustados o método da máxima curvatura modificado (*MMCM*), modelo linear segmentado com resposta platô (*MLRP*) e modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*). Foram obtidas as estimativas dos parâmetros dos modelos e com bases nestes, foi determinado o tamanho de amostra, grau de multicolinearidade correspondente ao tamanho de amostra e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) para cada modelo. O *MMCM* proporcionou os menores valores de  $R^2$  e os modelos *MLRP* e *MQRP* apresentaram os melhores ajustes e são adequados para determinar o tamanho de amostra para avaliar o grau de multicolinearidade em caracteres morfológicos e produtivos de centeio. O *MQRP* foi o modelo que apresentou os maiores valores de  $R^2$  e, portanto, com base neste modelo foram realizadas as inferências para determinar o tamanho de amostra. Foi constatado variabilidade no tamanho de amostra para diagnosticar o grau de multicolinearidade em caracteres morfológicos e produtivos de centeio. Para ambos os grupos de caracteres, maiores tamanhos de amostra são necessários para o indicador *DET*, fato este que pode estar relacionado com a maior variabilidade no grau de multicolinearidade observada na amostra mestre. Em caracteres morfológicos, é necessário avaliar no mínimo de 116 plantas para *NC*, 180 para *DET* e 85 para *FIV*. Já para caracteres produtivos, o tamanho de amostra para os indicadores *NC* e *FIV* não diferem pelo teste *t* para amostras pareadas com probabilidade de 5% de erro, com o tamanho de amostra não menor que 99 plantas, e 169 plantas para o indicador *DET*. De maneira geral, há variabilidade no tamanho de amostra entre os indicadores e entre os caracteres morfológicos e produtivos, havendo a necessidade de maiores tamanhos de amostra em caracteres morfológicos para detectar o grau de multicolinearidade pela utilização de *NC* e *DET* e menor tamanho quando o *FIV* for utilizado.

**Palavras-chave:** *Secale cereale* L. Cereal de inverno. Reamostragem.

## ABSTRACT

### SAMPLE SIZE FOR EVALUATING MULTICOLLINEARITY IN CHARACTERS OF RYE CULTIVARS

AUTHOR: Ismael Mario Marcio Neu

ADVISOR: Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho

The aim of this work was to determine the sample size (number of plants) necessary to estimate the indicators of the degree of multicollinearity - condition number (*NC*), determinant of correlation matrix (*DET*) and variance inflation factor (*FIV*) - in matrices of correlation coefficients between rye characters, and verify the variability of sample size between indicators. The experiments were conducted in Santa Maria, Rio Grande do Sul, in five sowing seasons for the cultivar BRS Progresso and three sowing for the cultivar Temprano, totaling eight uniformity trials. In each uniformity trials, 100 plants were randomly collected and eight morphological and seven productive characters were evaluated. Cases of study were formed by the combination of characters, being 22 with the morphological characters and 21 with the productive ones. For each case, 197 sample sizes were planned and, within these, averages of 2,000 resamples were obtained, with replacement, of the degree of multicollinearity considering the three indicators (*NC*, *DET* and *FIV*). Based on the 197 averages, were fitted modified maximum curvature method (*MMCM*), segmented linear model with plateau response (*MLRP*), and segmented quadratic model with plateau response (*MQRP*). The parameters of the models were obtained and, based on these, the sample size was determined, multicollinearity degree corresponding the sample size and the adjusted coefficient of determination ( $R^2$ ) for each model. The *MMCM* provided the lowest  $R^2$  values and the *MLRP* and *MQRP* models presented the best fit and are suitable for determining the sample size to evaluate the degree of multicollinearity in morphological and productive rye characters. The *MQRP* was the model that presented the highest  $R^2$  values and, therefore, based on this model, the inferences were conducted to determine the sample size. Variability in sample size was verified to diagnose the degree of multicollinearity in morphological and productive rye characters. For both characters, larger sample sizes are required for the *DET* indicator, as for this indicator, greater variability was observed in the estimation in the master sample. In morphological characters, it is necessary to evaluate sample size not less than 116 plants for *NC*, 180 for *DET* and 85 for *FIV*. As for productive characters, the sample size for the *NC* and *FIV* indicators does not differ by the t-test for paired samples with a probability of 5% error, with a sample not less than 99 plants, and 169 plants for the *DET* indicator. In general, there is variability in the sample size between the indicators and between the morphological and productive characters, and there is a need for larger sample sizes in morphological characters to detect the degree of multicollinearity by the use of *NC* and *DET* and smaller size when *FIV* is used.

**Keywords:** *Secale cereale* L. Diagnosis of multicollinearity. Resampling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Série histórica de área plantada, produção e produtividade de grãos de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.) no estado do Rio Grande do Sul, entre os anos 1980 e 2018.....	17
Figura 2 – Precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima diária (°C) [A] e representação do período correspondente para as fases semeadura à emergência e estádios morfológico e reprodutivo [B] de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos em oito <sup>1</sup> ensaios de uniformidade (cultivar × época de semeadura) na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	40
Figura 3 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô ( <i>MQRP</i> ) para o grau de multicolinearidade pelo indicador número de condição ( <i>NC</i> ) em caracteres morfológicos de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	53
Figura 4 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô ( <i>MQRP</i> ) para o grau de multicolinearidade pelo indicador determinante da matriz de correlação ( <i>DET</i> ) em caracteres morfológicos de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	53
Figura 5 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô ( <i>MQRP</i> ) para o grau de multicolinearidade pelo indicador fator de inflação da variância ( <i>FIV</i> ) em caracteres morfológicos de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	53
Figura 6 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô ( <i>MQRP</i> ) para o grau de multicolinearidade pelo indicador número de condição ( <i>NC</i> ) em caracteres produtivos de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	65
Figura 7 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô ( <i>MQRP</i> ) para o grau de multicolinearidade pelo indicador determinante da matriz de correlação ( <i>DET</i> ) em caracteres produtivos de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	65
Figura 8 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô ( <i>MQRP</i> ) para o grau de multicolinearidade pelo indicador fator de inflação da variância ( <i>FIV</i> ) em caracteres produtivos de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	65



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Datas de semeadura, de emergência, de florescimento e de colheita, estande de plantas (EP = número de plantas m <sup>-2</sup> ) e número de dias entre a semeadura e a avaliação <sup>1</sup> (Ciclo) em duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), conduzidos em Santa Maria – RS, Safra 2016. ....	34
Tabela 2 – Combinações dos caracteres dos grupos de caracteres morfológicos e produtivos para cada caso de estudo em ensaio com o centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos em Santa Maria – RS, Safra 2016. ....	36
Tabela 3 – Mínimo, máximo, média e desvio-padrão de oito caracteres morfológicos avaliados em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), em duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	42
Tabela 4 – Coeficiente de variação (em porcentagem), valor-p do teste de Shapiro-Wilk para a normalidade e coeficientes de assimetria e curtose de oito caracteres morfológicos avaliados em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), em duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	43
Tabela 5 – Matriz de correlação linear de Pearson em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) e oito caracteres morfológicos, avaliados em duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	46
Tabela 6 – Grau de multicolinearidade da amostra mestre <sup>1</sup> , determinado pelo número de condição (NC), para oito caracteres morfológicos combinados em 28 casos de estudo e em oito ensaios com o centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos em Santa Maria – RS, Safra 2016. ....	47
Tabela 7 – Mínimo, máximo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV, em porcentagem) da amostra mestre em 22 casos por ensaio e três indicadores do grau de multicolinearidade, em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) - duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos na safra 2016, em Santa Maria – RS. ....	48
Tabela 8 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra (n), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para n para o indicador número de condição (NCn) e do coeficiente de determinação ajustado (R <sup>2</sup> ), para três modelos ajustados para o indicador número de condição. Dados de caracteres morfológicos de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	50
Tabela 9 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra (n), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para n para o indicador determinante da matriz de correlação (DETn) e do coeficiente de determinação ajustado (R <sup>2</sup> ), para três modelos ajustados para o indicador determinante da matriz de correlação. Dados de caracteres morfológicos de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	51

Tabela 10 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para $n$ para o indicador fator de inflação da variância ( $FIVn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador fator de inflação da variância. Dados de caracteres morfológicos de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	52
Tabela 11 – Mínimo, máximo, média e desvio-padrão de sete caracteres produtivos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), avaliados em duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	56
Tabela 12 – Coeficiente de variação (CV, em porcentagem), valor-p do teste de Shapiro-Wilk para a normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para sete caracteres produtivos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), avaliados em duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	57
Tabela 13 – Matriz de correlação linear de Pearson e significância em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) e sete caracteres produtivos, avaliados em duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	58
Tabela 14 – Grau de multicolinearidade da amostra mestre <sup>1</sup> , determinado pelo número de condição ( $NC$ ), para sete caracteres produtivos combinados em 21 casos de estudo e em oito ensaios com o centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos em Santa Maria – RS, Safra 2016.....	59
Tabela 15 – Mínimo, máximo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV), em porcentagem, da amostra mestre em 21 casos ensaio <sup>-1</sup> e três indicadores do grau de multicolinearidade, em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) - duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), conduzidos na safra 2016, em Santa Maria – RS.....	60
Tabela 16 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para $n$ para o indicador número de condição ( $NCn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador número de condição. Dados de caracteres produtivos de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS. ....	62
Tabela 17 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para $n$ para o indicador determinante da matriz de correlação ( $DETn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador determinante da matriz de correlação. Dados de caracteres produtivos de duas cultivares de centeio ( <i>Secale cereale</i> L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....	63
Tabela 18 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para $n$ para o indicador fator de inflação da variância ( $FIVn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três	

modelos ajustados para o indicador fator de inflação da variância. Dados de caracteres produtivos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, ..., E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.....64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla	Significado, forma de avaliação e unidade de medida
	Indicador:
<i>NC</i>	Número de condição (indicador do grau de multicolinearidade)
<i>DET</i>	Determinante da matriz de correlação (indicador do grau de multicolinearidade)
<i>FIV</i>	Fator de inflação da variância (indicador do grau de multicolinearidade)
	Ensaio:
E1	Ensaio 1, refere-se a cultivar BRS Progresso e primeira época de semeadura
E2	Ensaio 2, refere-se a cultivar BRS Progresso e segunda época de semeadura
E3	Ensaio 3, refere-se a cultivar BRS Progresso e terceira época de semeadura
E4	Ensaio 4, refere-se a cultivar BRS Progresso e quarta época de semeadura
E5	Ensaio 5, refere-se a cultivar BRS Progresso e quinta época de semeadura
E6	Ensaio 6, refere-se a cultivar Temprano e primeira época de semeadura
E7	Ensaio 7, refere-se a cultivar Temprano e segunda época de semeadura
E8	Ensaio 8, refere-se a cultivar Temprano e terceira época de semeadura
	Caracteres morfológicos:
NCP	Número de colmos planta <sup>-1</sup> , refere-se ao número total de colmos planta <sup>-1</sup> , obtido pela soma do colmo principal e colmo(s) de afilho(s), em unidades
NNP	Número de nós planta <sup>-1</sup> , refere-se ao número total de nós de colmos planta <sup>-1</sup> , obtido pela soma do colmo principal e de colmo(s) de afilho(s), em unidades
NNC	Número de nós colmo <sup>-1</sup> , refere-se ao número médio de nós de colmos planta <sup>-1</sup> , obtido razão entre NNP e NCP ( $NNC = NNP/NCP$ ), em unidades
CCP	Comprimento de colmo da planta, refere-se ao comprimento médio de colmos planta <sup>-1</sup> , obtido pela soma dos comprimentos de colmo principal e de afilho(s) e dividido por NCP, em cm
CPP	Comprimento de pedúnculo da planta, refere-se ao valor médio do comprimento de pedúnculo planta <sup>-1</sup> , obtido pela soma dos comprimentos de pedúnculo (porção entre o último nó do colmo e a inserção de espiga no colmo) de colmo principal e de afilho(s) e dividido por NCP, em cm
CEP	Comprimento de espiga da planta, refere-se ao valor médio de comprimento de espiga, obtido pela soma dos comprimentos de espiga de colmo principal e de afilho(s) e dividido por NCP, em cm
APP	Altura de colmo principal da planta, refere-se à porção de colmo entre a base do solo até o último nó do colmo, em cm
ACP	Altura média de colmos da planta, refere-se ao valor médio de altura de planta, obtido pela soma de APP e colmo(s) de afilho(s), em cm
	Caracteres produtivos:
MFP	Massa fresca de parte aérea, refere-se ao total de massa de colmos e de folhas planta <sup>-1</sup> , desconsiderando a massa de espigas, em gramas
MSP	Massa seca de parte aérea, refere-se a MFP após a secagem em estufa com circulação de ar forçado (65±5°C) até peso constante, em gramas
NSE	Número de espiguetas espiga <sup>-1</sup> , refere-se ao número total de espiguetas espiga <sup>-1</sup> , obtido pela soma de espiguetas de colmo principal e de colmo(s) de afilho(s) dividido por NCP, em unidades

NGE	Número de grãos espiga <sup>-1</sup> , refere-se ao número médio de grãos espiga <sup>-1</sup> planta <sup>-1</sup> , obtido pela soma de grãos espiga <sup>-1</sup> de colmo principal e colmo(s) de afilho(s) dividido pelo número de espiga(s) planta <sup>-1</sup> , em unidades
NGS	Número de grãos espigueta <sup>-1</sup> , refere-se ao número médio de grãos espigueta <sup>-1</sup> , obtido pela razão entre NGE e o número de espigueta(s) planta <sup>-1</sup> , em unidades
MGP	Massa de grãos planta <sup>-1</sup> , refere-se ao total de massa de grãos planta <sup>-1</sup> , obtido pela soma da massa de grãos de espigas de colmo principal e de colmo(s) de afilho(s), em gramas
M100	Massa de 100 grãos, refere-se a massa de 100 grãos, obtido pela proporção de peso equivalentes a massa de 100 grãos, em gramas
	Método/Modelo:
<i>MMCM</i>	Método da máxima curvatura modificado
<i>MLRP</i>	Modelo linear segmentado com resposta platô
<i>MQRP</i>	Modelo quadrático segmentado com resposta platô
	Outros:
<i>n</i>	Tamanho de amostra
<i>Yn</i>	Estimativa do grau de multicolinearidade obtido no modelo ajustado para o tamanho de amostra ( <i>n</i> )
<i>P</i>	Platô, correspondendo a reta de coeficiente angular nulo de <i>MLRP</i> , coincidindo com o valor estimado de <i>Yn</i>
<i>R</i> <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação ajustado para os modelos
$\lambda_{m\acute{a}x}$	Maior autovalor obtido da matriz de correlação
$\lambda_{m\acute{i}n}$	Menor autovalor obtido da matriz de correlação
<i>FIV<sub>j</sub></i>	Fator de inflação de variância, para a <i>j</i> -ésima variável
<i>R<sub>j</sub></i> <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação múltiplo de determinada variável explicativa sobre as demais variáveis explicativas
<i>k</i>	Constante (entre 0,0 e 1,0) adicionada na diagonal da matriz de correlação para reduzir os efeitos da multicolinearidade

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	CONTEXTO.....	14
1.2	JUSTIFICATIVA .....	15
1.3	HIPÓTESES .....	16
1.4	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS.....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
2.1	CENTEIO .....	17
2.2	CARACTERES MORFOLÓGICOS E PRODUTIVOS.....	19
2.3	ÉPOCA DE SEMEADURA.....	19
2.4	ANÁLISE MULTIVARIADA .....	21
2.5	MULTICOLINEARIDADE.....	22
2.6	INDICADORES DE MULTICOLINEARIDADE .....	24
2.7	TAMANHO DE AMOSTRA PARA DETECÇÃO DA MULTICOLINEARIDADE.....	26
2.8	TÉCNICA DE REAMOSTRAGEM.....	28
2.9	MODELOS DE REGRESSÃO .....	30
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
4.1	CULTURA .....	40
4.2	CARACTERES MORFOLÓGICOS.....	41
4.3	CARACTERES PRODUTIVOS .....	54
4.4	DISCUSSÃO GERAL.....	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	69
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	70
	<b>APÊNDICE A – Rotina em R para as reamostragens e grau de multicolinearidade</b> .....	76

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO

O centeio (*Secale cereale* L.) pertence a família Poaceae, de ciclo anual com altura entre 1,2 e 1,8 m. Os grãos são ótima fonte proteica e energética para serem utilizados em formulações de rações animais. A cultura também possui potencial para uso em sistemas forrageiros, fenação e como planta de cobertura de solo, além de ótima fonte para a produção de etanol.

No Brasil, a produção de grãos desse cereal tem valor insignificante perante os maiores produtores mundiais. Anualmente são produzidos, aproximadamente, sete mil toneladas de grãos. Enquanto que a Alemanha, líder em produção, tem produção de 3,9 milhões de toneladas de grãos.

Cinco cultivares de centeio estão registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Entre elas, a cultivar BRS Progresso, tendo como propósito para produção de grãos e a cultivar Temprano para uso forrageiro e planta de cobertura de solo. As recomendações de semeadura da cultura nos estados do sul do Brasil são distintas entre as duas cultivares, de acordo com o propósito. A recomendação de semeadura para a formação de forragem deve ser em março. Entretanto, quando o propósito for a produção de grãos, a semeadura deve ser realizada, preferencialmente, nos meses de junho e julho.

O dimensionamento e planejamento experimental têm sido constante tema de estudos e entre elas, estudos para a determinação do tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres morfológicos e produtivos. Foi constatado haver necessidade de maiores tamanhos de amostra para avaliar caracteres produtivos, por nesse grupo de caracteres haver maior variabilidade entre as plantas, quando comparado ao grupo de caracteres morfológicos.

Procurando entender o fenômeno ou a característica em estudo, realiza-se o estudo de características independentes que possam servir de base para o entendimento da principal. No entanto, relações entre as características ou variáveis independentes escolhidas no estudo podem ocorrer em baixo ou alto grau de relacionamento. Fortes relações entre pares de variáveis independentes podem causar redução na confiabilidade das estimativas dos parâmetros do modelo em estudo. Esta relação entre caracteres proporciona o viesamento das estimativas e descaracteriza a verdadeira interpretação dos resultados, devido as relações entre caracteres dependentes, denominada por multicolinearidade. Para maior confiabilidade nas estimativas, é exigido baixo grau de multicolinearidade em procedimentos estatísticos multivariados, tais

como a análise discriminante múltipla, a análise de regressão múltipla, a análise de agrupamento, a análise de trilha e a análise de correlação canônica.

O diagnóstico do grau de multicolinearidade é realizado, por meio de indicadores, tais como o número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*). Para estes indicadores, o grau de multicolinearidade é determinado independentemente do tamanho de amostra, supondo que os indicadores possuem o mesmo grau de previsibilidade para os distintos tamanhos de amostra. As estimativas dos indicadores do grau de multicolinearidade necessitam ser estimados com precisão, para que o grau de multicolinearidade em matrizes de coeficientes de correlação linear seja determinado com confiabilidade.

Estudos com diversas culturas e análises estatísticas vem sendo realizadas e um procedimento importante é o diagnóstico do grau de multicolinearidade. No entanto, o tamanho de amostra ou o número de observações ou plantas utilizadas para o diagnóstico para a mesma cultura ou entre as culturas é muito amplo. Assim como ocorre para as estimativas de média de caracteres, a estimativa do grau de multicolinearidade pode estar sendo superestimado ou subestimado em situações de utilização de pequeno tamanho de amostra.

O tamanho de amostra permitirá ao pesquisador planejar adequadamente o experimento, sem correr o risco de estimação dos indicadores do grau de multicolinearidade de forma viesada. Assim, com estimativas confiáveis sobre o grau de multicolinearidade em matriz de correlação, o pesquisador poderá interpretar com facilidade e segurança as estimativas dos coeficientes obtidos em suas análises estatísticas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização de técnicas multivariadas, análise de trilha e análise de correlação canônica, por exemplo, facilita a predição de relação entre caracteres dependentes e independentes. No entanto, o real efeito pode ser conturbado diante da existência de relações entre caracteres preditoras, causando redução na confiabilidade dos resultados. Para tanto, o tamanho da amostra pode ter impacto sobre a estimativa do grau de multicolinearidade. Diante do desconhecimento do impacto do tamanho de amostra (número de plantas) na estimação dos indicadores do grau de multicolinearidade em matriz de correlação linear entre caracteres morfológicos e produtivos em duas cultivares de centeio, foi proposto este trabalho. É necessário determinar o tamanho de amostra para a estimação de indicadores do grau de



multicolinearidade com precisão, pois o viés destes indicadores pode estar relacionado à insuficiência amostral.

### 1.3 HIPÓTESES

O tamanho de amostra (número de plantas) para a estimação dos indicadores do grau de multicolinearidade difere entre os indicadores número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*).

O tamanho de amostra (número de plantas) para a estimação dos indicadores do grau de multicolinearidade difere entre os caracteres morfológicos e produtivos de centeio.

### 1.4 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

Objetivo geral:

Determinar o tamanho de amostra (número de plantas) necessário para a estimação dos indicadores do grau de multicolinearidade - número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*) - em matrizes de correlação para caracteres morfológicos e produtivos de cultivares de centeio, e verificar a variabilidade do tamanho de amostra entre indicadores e entre os caracteres morfológicos e produtivos.

Objetivos específicos:

Verificar se o tamanho de amostra (número de plantas) para a estimação dos indicadores do grau de multicolinearidade difere entre os indicadores número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*).

Verificar se o tamanho de amostra (número de plantas) para a estimação dos indicadores do grau de multicolinearidade difere entre os caracteres morfológicos e produtivos de centeio.

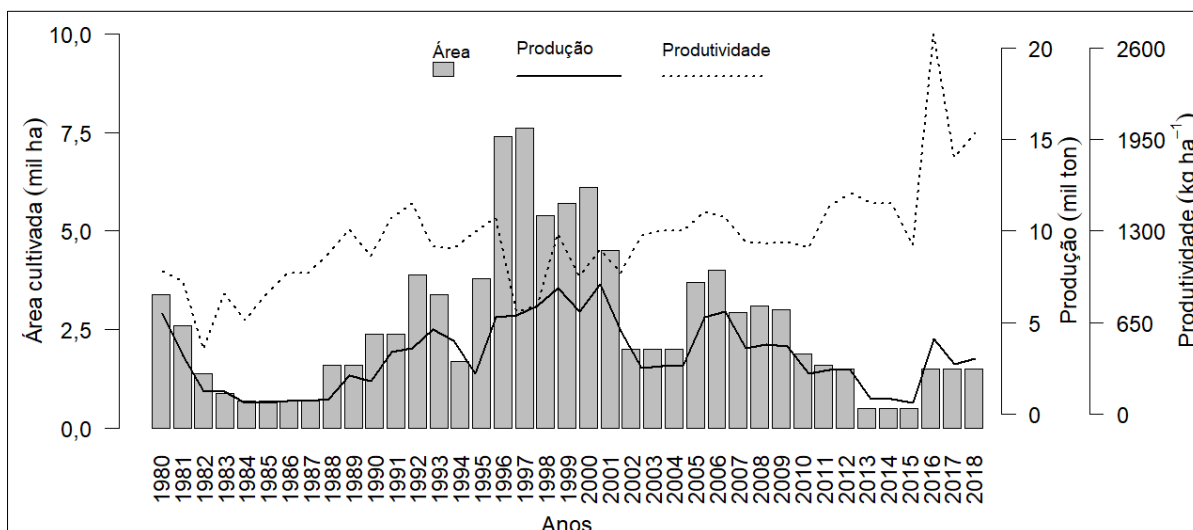
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CENTEIO

O centeio (*Secale cereale* L.) pertence a família Poaceae (BUSHUK, 2001). É uma planta de ciclo anual com altura entre 1,2 e 1,8 m. Em comparação com outras espécies de cereais de inverno, apresenta maior desuniformidade de espigamento e maturação, possui espigas longas, duas flores férteis e dois grãos por espigueta (BAIER, 1994).

O cereal tem grande importância na base produtiva da Europa. A Alemanha lidera o *ranking* de produção de centeio em nível mundial, seguido de Polônia e Rússia, com produções de 3,9, 2,9 e 2,1 milhões de toneladas de grãos, respectivamente (PARIONA, 2017). No Brasil, a produção é de sete mil toneladas e produtividade média de 1.722 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2018). Quase que a totalidade deste volume é produzido nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, com produtividades médias de 1.678 e 1.826 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A área cultivada apresentou pico no final da década de 90, com declínio e, posterior estabilização nos últimos anos (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016). Nos últimos anos houve aumento na produtividade de grãos, com estimativas próximas a 2.000 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1).

Figura 1 – Série histórica de área plantada, produção e produtividade de grãos de centeio (*Secale cereale* L.) no estado do Rio Grande do Sul, entre os anos 1980 e 2018.



Fonte: Adaptado de Companhia Nacional de Abastecimento (2019)

O centeio possui a capacidade de adaptar-se a diversas condições agroclimáticas. Isso se deve a sua capacidade de adaptar-se às condições de frio intenso e solo com problemas de

fertilidade (SCHLEGEL, 2013). Estas características fazem do centeio ser recomendado para uso na alimentação animal, como mistura de grãos em rações, ou como planta forrageira em sistemas de pastoreio, forragem verde e fenação (BAIER, 1994). Os grãos são ótima fonte proteica e energética, com 13% de proteína e 80% de carboidratos na matéria seca (MORI; JUNIOR; MIRANDA, 2013) e com potencial de ser utilizada como fonte energética na produção de etanol (GEIGER; MIEDANER, 2009).

A cultura é considerada ótima espécie forrageira devido a sua característica de oferta precoce de forragem, com a possibilidade de utilização já no final do outono (PAULINO; CARVALHO, 2004). Outra possibilidade de utilização é como planta de cobertura de solo (ZIECH et al., 2015), devido a característica de auxiliar na manutenção do conteúdo de água no solo (BASCHÉ et al., 2016).

Quanto a instalação, adapta-se à semeadura convencional, direta ou a lanço (BAIER, 1994). Possui recomendação de densidade de semeadura de 200 a 250 sementes viáveis  $m^{-2}$  visando à produção de grãos e quando vier a ser utilizada como planta forrageira, duplo-propósito ou cobertura de solo, a recomendação é de 300 a 350 sementes viáveis  $m^{-2}$  (NASCIMENTO JUNIOR; LUNARDI; MORI, 2006). Os mesmos autores recomendam a semeadura com espaçamento de 17 a 20 cm entre fileiras, mas podendo ser realizada a lanço, quando a semeadura for destinada como planta forrageira ou cobertura de solo. Segundo estudo para a produção de pastagem para a região de São Paulo, a semeadura deve ser realizada de março a maio (PAULINO; CARVALHO, 2004).

Cinco cultivares de centeio estão registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. As cultivares BR 1, BRS Serrano e BRS Progresso foram desenvolvidas e registradas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária nos anos de 1999, 2005 e 2013, respectivamente. A cultivar IPR 89 foi registrada pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) em 2000 e a cultivar Temprano foi registrada pela Atlântica Sementes S.A. no ano de 2010 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2018).

Com relação as duas cultivares conduzidas para a elaboração deste trabalho, elas têm propósitos diferentes. A cultivar BRS Progresso tem como propósito a produção de grãos, enquanto que a Temprano é destinada ao uso como planta forrageira e cobertura de solo. Há poucas informações sobre as características agrônômicas para as duas cultivares. A cultivar BRS Progresso é tolerante a acidez do solo, resistente a ferrugem do colmo, oídio e bacteriose, moderadamente susceptível às manchas foliares e susceptível à giberela (NASCIMENTO JUNIOR; CAIERÃO; MORI, 2014). Ainda sobre a cultivar BRS Progresso, há registro de

produtividade média de grãos oscilando entre 1,5 ton ha<sup>-1</sup> em Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul (CHAVES et al., 2018) e 2,99 ton ha<sup>-1</sup> em 14 localidades nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e São Paulo (NASCIMENTO JUNIOR; CAIERÃO; MORI, 2014). A cultivar Temprano apresentou produção de 4,39 e 43,56 ton ha<sup>-1</sup> de massas de matéria seca e fresca, respectivamente (HAHN et al., 2015) e produtividade média de grãos de 0,7 ton ha<sup>-1</sup> (CHAVES et al., 2018).

## 2.2 CARACTERES MORFOLÓGICOS E PRODUTIVOS

A planta de centeio, assim como acontece em outras espécies, está sujeita às condições e adversidades climáticas e as pressões bióticas e abióticas durante o desenvolvimento. Cada planta, ou aqui mais específico, a cultivar, necessita de um determinado tempo para completar o ciclo de vida. Durante este período, a planta passa pelas fases vegetativa e reprodutiva. A planta desloca os fotoassimilados para produção de órgãos estruturais durante a fase vegetativa e para a produção de órgãos reprodutivos durante a fase reprodutiva. Como a fase reprodutiva ocorre após a fase vegetativa, há maior variabilidade nos caracteres produtivos, quando comparados aos caracteres morfológicos.

Assim, em estudos de tamanho de amostra para estimação da média de caracteres, foi constatada a necessidade de maiores tamanhos de amostra para caracteres produtivos em relação aos caracteres morfológicos. Estudos neste sentido foram realizados nas culturas de crambe (CARGNELUTTI FILHO et al., 2010a), nabo forrageiro (CARGNELUTTI FILHO et al., 2014), tremoço branco (BURIN et al., 2014), aveia preta (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015), feijão de porco (FACCO et al., 2015), canola (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018d) e linho (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b).

## 2.3 ÉPOCA DE SEMEADURA

A época preferencial de semeadura da cultura na região Sul do Brasil compreende o período entre os meses de março a julho. A recomendação para o período preferencial de acordo com aptidão para a produção de grãos ou forrageiras. Esta recomendação faz distinção entre as cultivares de acordo com o propósito. Para a formação de pastagens é recomendada a semeadura entre os meses de março e maio e para a produção de grãos a semeadura deve ser realizada durante os meses de junho e julho (BAIER, 1994).

Em pesquisas com a cultura de centeio, foi constatado haver diferenças no ciclo de desenvolvimento da cultura em função da época de semeadura. O ciclo, para as cultivares BRS Progresso e Temprano, diminuiu em condições de semeaduras tardias. Para semeaduras realizadas em maio, o ciclo para a BRS Progresso foi de 174 dias e para a Temprano de 188 dias, e quando a semeadura foi realizada em julho, o ciclo foi de 165 e 170 dias, respectivamente (CHAVES et al., 2018). Em ensaio para avaliar a biomassa ensilável de espécies forrageiras com a instalação do experimento em maio em Passo Fundo, o ciclo para a cultivar BRS Serrano foi de 170 dias e a massa seca de parte aérea de 13.448 kg ha<sup>-1</sup> (LEHMEN et al., 2014). Ainda no mesmo ensaio, foi constatado que dentre as espécies avaliadas, o centeio apresentou superioridade quanto à altura de plantas (160 cm) e de rendimento de biomassa ensilável.

Com relação à produtividade de grãos, as pesquisas apontam não haver diferença significativa entre as épocas de semeadura para a cultivar BRS Progresso (CHAVES et al., 2018; NASCIMENTO JUNIOR; CAIERÃO; MORI, 2014). Já para a cultivar Temprano, houve diferença significativa na produtividade de grãos para semeadura ao longo do tempo (CHAVES et al., 2018). Este fato pode estar relacionado com o propósito da cultivar Temprano de não ser para a produção de grãos. No entanto, quando a finalidade da cultura for para ser utilizada como forrageira, foi constatado que semeaduras até o início de maio apresentaram elevada capacidade de produção e manutenção da produção, com produção diária de forragem de 51,4 kg ha<sup>-1</sup> (FERRAZZA et al., 2013). Os mesmos autores, avaliando espécies forrageiras, constataram que a data de semeadura interfere nas características de produção da planta, pois as semeaduras precoces proporcionaram maiores rendimentos de massa forrageira e maior período de utilização da pastagem.

A época de semeadura em que a cultura é implantada, pode também impactar no tamanho da amostra para a detecção do grau de multicolinearidade. No dimensionamento amostral para a estimação de média de caracteres agrícolas, foi observado haver variabilidade no tamanho de amostra nas culturas de aveia preta entre períodos de avaliação (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015), em feijão guandu para a avaliação de caracteres produtivos entre anos agrícolas (FACCO et al., 2015, 2016), em milheto entre épocas de avaliação (KLEINPAUL et al., 2017), e na cultura do centeio entre épocas de semeadura, em caracteres morfológicos durante o desenvolvimento da cultura (BANDEIRA et al., 2018b) e caracteres em estágio de florescimento (BANDEIRA et al., 2018a).

## 2.4 ANÁLISE MULTIVARIADA

Pesquisas nas ciências agrárias vem sendo realizadas com as mais diversas culturas em diferentes ambientes ou épocas de semeadura com a exploração de características agrônômicas, tanto de caracteres morfológicos, bem como de caracteres produtivos. Para entendimento e inferências dos fenômenos dos casos em estudo, são utilizados procedimentos estatísticos multivariados. As técnicas de análises multivariadas auxiliam o pesquisador na tomada de decisões, levando em conta a variação de todas as variáveis.

As técnicas de análises podem ser de dependência ou independência entre as variáveis. Os critérios a serem considerados para identificação do método multivariado adequado a ser utilizado, são baseados na análise de três princípios (HAIR et al., 2009): classificação das variáveis em independentes ou dependentes com base teórica; número de variáveis dependentes em uma única análise; e modo em que as variáveis independentes ou dependentes são medidas.

As técnicas multivariadas são baseadas em quatro suposições básicas: a normalidade, a homocedasticidade, a linearidade e a ausência de erros correlacionados (HAIR et al., 2009). A normalidade multivariada é a suposição mais fundamental e se refere à forma de como estão distribuídos os dados de duas ou mais variáveis. A homocedasticidade refere-se à suposição de que as variáveis dependentes exibem níveis iguais de variância ao longo do domínio das variáveis preditoras, ou seja, a variância dos valores da variável dependente deve ser relativamente semelhante em cada valor da variável preditora. A linearidade é uma suposição implícita presente nas técnicas multivariadas e que mede a força da relação entre os pares de variáveis, onde associações não-lineares entre as variáveis não serão representadas pelo valor da correlação e tem como resultado a subestimação da força real entre as duas variáveis. A suposição de ausência de erros correlacionados garante que as variações de erros entre variáveis dependentes e independentes não estejam ligados aos erros sistemáticos.

Relações entre as variáveis independentes e dependentes são desejáveis. No entanto, também ocorre associações de qualquer variável independente com outras variáveis independentes e este grau com que uma variável independente pode ser explicada por outras é denominado por multicolinearidade (HAIR et al., 2009). A multicolinearidade tem efeito sobre a estimação e explicação dos parâmetros do modelo. Os efeitos podem ocorrer sobre a capacidade preditiva do modelo de regressão e também sobre a estimação dos coeficientes de regressão e seus teste de significância estatística (HAIR et al., 2009).

Gujarati e Porter (2011) citam que em presença de multicolinearidade:

- a) pode haver uma estimação imprecisa dos estimadores de mínimos quadrados ordinários (MQO), por mais que se tenha os melhores estimadores lineares, pois eles possuem grandes variâncias e covariâncias;
- b) ocorre facilmente a aceitação da hipótese de nulidade devido a amplitude do intervalo de confiança dos parâmetros;
- c) os coeficientes tendem a serem estatisticamente insignificantes;
- d) ocorrência de coeficiente de determinação muito alto mesmo em situação de coeficientes insignificantes;
- e) quaisquer alterações nos dados podem influenciar os estimadores de MQO e seus erros padrão.

Hair et al. (2009) mencionam que:

- a) em regressão múltipla, os testes estatísticos possuem dificuldade de mostrar que os coeficientes de regressão estimados são significativamente diferentes de zero devido ao aumento do erro padrão ocasionado pelo aumento da multicolinearidade. Além de que os coeficientes de regressão podem ser incorretamente estimados, podem ser estimados com sinal contrário e dificuldade para serem interpretados pelo pesquisador;
- b) na análise discriminante pode uma variável independente ser altamente explicada por outras, acrescentando pouco ao poder explicativo como um todo devido ao aumento dos pesos dessas variáveis na análise;
- c) na análise de variância multivariada (MANOVA), pode haver diminuição da eficiência estatística em função de medidas dependentes redundantes causados pela linearidade e multicolinearidade;
- d) em análise a grupamento, a multicolinearidade é uma forma de ponderação não visível ao pesquisador, mas que tem efeito sobre a análise afetando a medida de similaridade com peso maior a um grupo, pois há neste maior número de variáveis em decorrência da multicolinearidade.

## 2.5 MULTICOLINEARIDADE

Inicialmente, a existência de relação perfeita entre algumas ou todas variáveis independentes foi designado como sendo multicolinearidade. Tanto que a multicolinearidade foi erroneamente confundida com a correlação (ALIN, 2010). No entanto, corresponde ao grau

em que uma variável pode ser explicada pelas outras variáveis do modelo (HAIR et al., 2009). Pois, pode-se ter multicolinearidade entre as variáveis explicativas e não necessariamente, ter-se alta correlação entre os pares dessas variáveis (ALIN, 2010). Para tanto, é designado o termo multicolinearidade quando há relações entre várias variáveis, enquanto que a colinearidade para a relação entre apenas duas variáveis. A existência de algum grau de multicolinearidade não é totalmente indesejável. É importante haver um pouco de multicolinearidade entre caracteres quando o objetivo for identificar variáveis relacionadas entre si em técnicas multivariadas baseadas em relacionamento (HAIR et al., 2009).

Para minimizar os efeitos, há a necessidade de fazer uso de técnicas que diminuam o grau de multicolinearidade. A redução da multicolinearidade pode ser conseguida com imposição de restrições ao construir o modelo linear (HARVEY, 1977) ou com a utilização de transformação de dados, remoção de variáveis e adição de constante  $k$  a diagonal da matriz de correlação.

Redução do grau de multicolinearidade foi verificada em ensaios de milho com a transformação de dados de variáveis explicativas, antes de realização da análise de trilha (TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013a). A exclusão de variáveis para diminuir a multicolinearidade teve bons resultados em estudos em milho (ALVES et al., 2016; ALVES; CARGNELUTTI FILHO; BURIN, 2017; MOREIRA et al., 2013; TOEBE et al., 2017a, 2017c; TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013a, 2013b), em crotalária (TOEBE et al., 2017b), em cana-de-açúcar (BARBOSA et al., 2017) e em tomate cereja (SARI et al., 2018). Outra possibilidade de redução do grau de multicolinearidade foi observado com a adição de constante  $k$  a diagonal da matriz de correlação (ALVES; CARGNELUTTI FILHO, 2017a, 2017b; AZEVEDO et al., 2016; BARBOSA et al., 2017; MOREIRA et al., 2013; OLIVOTO et al., 2017a; TOEBE et al., 2017a, 2017c; TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013a).

O alto grau de multicolinearidade entre as variáveis independentes significa que as mesmas compartilham informações entre si (DORMANN et al., 2013), impossibilitando a interpretação do real efeito das variáveis envolvidas no modelo analisado. A multicolinearidade reduz o desempenho do modelo na grande maioria dos métodos lineares. Em presença de multicolinearidade, as estimativas da magnitude dos coeficientes e os fatores de inflação de variância apresentam viéses, podendo com isso resultar em estatísticas superestimadas e presença excessiva de falsos positivos (GOODHUE; LEWIS; THOMPSON, 2017), causando redução na confiabilidade das estimativas dos parâmetros dos modelos propostos (ALIN, 2010).

O alerta de existência de multicolinearidade pode ser relacionado com a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Quando o  $R^2$  é muito alto, superior a 0,8, o teste F rejeitará,



na maioria dos casos, a hipótese nula de que os coeficientes parciais são iguais a zero (GUJARATI; PORTER, 2011). Vale ressaltar que pode haver multicolinearidade, mesmo quando todas as correlações da matriz de correlação forem de baixa magnitude (ALIN, 2010). A utilização do coeficiente de correlação também é válido, pois valores maiores que 0,8 expressariam a existência de multicolinearidade e que a presença de uma das variáveis pode estar causando algum grau de multicolinearidade (GUJARATI; PORTER, 2011). No entanto, os mesmos autores salientam que este critério não é eficiente, pois não necessariamente, existe multicolinearidade somente em caso da constatação da existência de alta correlação entre pares de variáveis.

Na regressão múltipla, por exemplo, a multicolinearidade pode superestimar os parâmetros, resultando em estimativas sem sentido prático e de alto erro padrão dos coeficientes (HAIR et al., 2009). Em análise de trilha foi constatado que a presença de multicolinearidade aumentou os erros de estimação dos coeficientes diretos e, conseqüentemente, os resultados obtidos foram sem sentido biológico e sem interpretação prática (TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013a). Já, em análise conjunta, pode ocorrer a incapacidade de obter estimativas confiáveis em presença de elevado grau multicolinearidade (HAIR et al., 2009). Este fato está relacionado com o aumento da magnitude da variância dos parâmetros estimados em modelos com problemas de multicolinearidade, impossibilitando estimar com precisão o efeito de cada variável sobre a variável dependente (FIGUEIREDO FILHO et al., 2011).

## 2.6 INDICADORES DE MULTICOLINEARIDADE

Há diversos métodos para o diagnóstico do grau da multicolinearidade e o que tem-se disponível são regras práticas. Entre as técnicas de diagnóstico de multicolinearidade, há os seguintes indicadores: número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*).

O número de condição (*NC*) é obtido a partir da relação do maior autovalor ( $\lambda_{máx}$ ) e menor autovalor ( $\lambda_{mín}$ ), obtido da matriz de correlação (CRUZ; CARNEIRO, 2006; GUJARATI; PORTER, 2011; MONTGOMERY et al., 2012). Sendo assim, tem-se:

$$NC = \lambda_{máx}/\lambda_{mín} \quad (1)$$

Como regra prática, tem-se multicolinearidade fraca se *NC* for menor que 100 ( $NC \leq 100$ ), multicolinearidade moderada a forte se *NC* está entre 100 e 1.000 ( $100 < NC \leq 1.000$ ) e

multicolinearidade severa se  $NC$  for maior que 1.000 ( $NC > 1.000$ ) (MONTGOMERY; PECK, 1982).

O diagnóstico da multicolinearidade realizado pelo determinante da matriz de correlação apresenta valores entre zero e um ( $0 \leq DET \leq 1$ ), sendo que em situação de  $DET = 1$ , as variáveis são ortogonais (sem correlações entre si) e  $DET = 0$ , a matriz de correlação é singular, ou seja, as correlações entre as variáveis são perfeitas (MONTGOMERY et al., 2012). De modo geral, quando o  $DET$  for inferior a 0,00001, indica haver multicolinearidade entre as variáveis (FIELD, 2009).

O grau de multicolinearidade pelo fator de inflação de variância ( $FIV$ ) é estimado por (GUJARATI; PORTER, 2011; MONTGOMERY et al., 2012):

$$FIV_j = 1/(1 - R_j^2) \quad (2)$$

onde:  $R_j^2$  é o coeficiente de determinação múltiplo de uma variável  $X_j$  contra as demais variáveis explicativas remanescentes. O valor de  $FIV$  mede o aumento da variância da variável devido à multicolinearidade em relação ao valor da variância que resultaria se não houvesse multicolinearidade. Alto valor de  $FIV_j$  indica o envolvimento de  $X_j$  em pelo menos uma dependência linear (ALIN, 2010). O fator de inflação da variância pode ser visto e entendido como o grau da velocidade com a qual as variâncias e covariâncias aumentam devido a presença da multicolinearidade (GUJARATI; PORTER, 2011).

Em situação de ausência de multicolinearidade, o  $FIV$  tem valor igual a um ( $FIV = 1$ ). De forma oposta, na existência de multicolinearidade, o  $FIV$  tenderá a assumir valores muito altos. Como regra prática, há problema causado pela multicolinearidade quando o valor de  $FIV_j$  for maior ou igual a dez ( $FIV_j \geq 10$ ) (GUJARATI; PORTER, 2011; HAIR et al., 2009). De maneira geral,  $NC$  e  $DET$  são indicadores que apresentam interpretação para todas as variáveis, enquanto que o  $FIV$  tem a vantagem de informar a inflação de variância para cada variável. Devido a isso, é possível a identificação da variável que está causando a multicolinearidade ao se estimar a multicolinearidade utilizando o  $FIV$ .

Trabalhos em diversas culturas realizaram o diagnóstico do grau de multicolinearidade e fizeram uso de alguma técnica para redução da multicolinearidade. Em crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) o grau de multicolinearidade entre variáveis explicativas foi moderado a forte ( $NC = 228$ ) e foi reduzido com a retirada de uma variável (CARGNELUTTI FILHO et al., 2010a), na cultura da pimenta (*Capsicum annum* L.) passou de severa (de  $NC = 1.156,95$ ) para fraca (para  $NC = 49,77$ ) (MOREIRA et al., 2013), em polpa de frutos de jaboticabeira (*Plinia cauliflora*) a severidade passou de  $NC = 5,15 \times 10^9$  para  $NC = 47,39$  (SALLA et al., 2015)

e na cultura da crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth.) a estimativa de  $NC$  passou de 1.113,08 para 107,32 (TOEBE et al., 2017b).

Caso de fraca grau de multicolinearidade foi observado em caracteres de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) ( $NC = 17,16$ ) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018a). Já em goiabeira-serrana (*Feijoa sellowiana*), a multicolinearidade foi moderado a forte ( $NC = 209,9$ ) e não foi constatado valores divergentes dos coeficientes em análise de trilha tradicional e em crista (DONAZZOLO et al., 2017).

A magnitude do grau de multicolinearidade com base no  $FIV$  também foram estudadas. Ao testar a dieta de abelha (*Apis mellífera*) em cenários obtidos por simulação *Monte-Carlo*, foram observados cenários sem e com multicolinearidade ( $6,27 \leq FIV \leq 30,58$ ) (PEREIRA; MILANI; CIRILLO, 2014). Características de vinte e quatro famílias de meios-irmãos em couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) foram submetidas ao diagnóstico do grau de multicolinearidade antes do estudo de associação entre caracteres e foi verificado  $FIV$  entre 2,06 e 295,53 (AZEVEDO et al., 2016).

Em milho (*Zea mays* L.) foram procedidos análise de trilha tradicional, adição de constante  $k$  na diagonal da matriz de correlação e a exclusão de variáveis, assim como usando estimativas de médias de cada parcela e todas as observações (OLIVOTO et al., 2017b). Os autores constataram a ocorrência de redução no grau de multicolinearidade, com valores de  $NC$  de 3.395 e 2.004, quando as estimativas foram obtidas com base nas médias de parcelas e em todas as observações da parcela, respectivamente. Os valores obtidos por média do tratamento superestimaram 131% o valor de  $NC$ , comparado com a detecção do grau de multicolinearidade realizado com todas as observações (OLIVOTO et al., 2017b).

Estudo para detecção do grau de multicolinearidade fazendo uso do indicador  $DET$  foi realizado em análise de trilha na cultura de tomate cereja (*Solanum lycopersicum*) (SARI et al., 2018). Os autores mencionam que em condição de tamanho de amostra composto por 20 plantas, com intervalo de confiança de 95%, o valor de  $DET$  variou de 0,0002 a 0,025, podendo o diagnóstico do grau de multicolinearidade com tamanho de amostra reduzido resultar em conclusões contraditórias.

## 2.7 TAMANHO DE AMOSTRA PARA DETECÇÃO DA MULTICOLINEARIDADE

O diagnóstico da multicolinearidade foi realizado em diversas culturas, mas não foram encontrados trabalhos em centeio. Estes trabalhos utilizaram como unidades básicas o número de plantas ou as parcelas ou cultivares, bem como, os mais variados tamanhos de amostra. O

diagnóstico utilizando a planta como unidade básica foi realizado em caracteres morfológicos e produtivos, considerando:

- a) 75 plantas na cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2010a);
- b) 62 plantas de pimenta (*Capsicum annuum* L.) em caracteres agrônômicas e produção de frutos (MOREIRA et al., 2013);
- c) 66 plantas em caracteres de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) (HAESBAERT, 2016);
- d) 100 plantas em crotalária (*Crotalaria spectabilis*) (TOEBE et al., 2017b);
- e) 194 plantas de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018a);
- f) 347 plantas de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* Lilli) (SARI et al., 2018);
- g) 180 e 900 plantas de híbrido simples de milho (*Zea mays*) (OLIVOTO et al., 2017a, 2017b).

Já em goiabeira-serrana (*Acca sellowiana*), o diagnóstico de multicolinearidade foi com base em características de 5 a 10 frutos maduros planta<sup>-1</sup>, avaliados em 5 grupos de plantas (DONAZZOLO et al., 2017) .

Em outros estudos, a parcela foi considerada a parcela como a unidade básica de avaliação e o diagnóstico de multicolinearidade. Na cultura de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) foram utilizadas 96 parcelas com cinco plantas parcela<sup>-1</sup> (AZEVEDO et al., 2016) e em plantas de 56 parcelas para características biométricas e tecnológicas em genótipos de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) (BARBOSA et al., 2017).

Em milho (*Zea mays*), também a parcela foi considerada como a unidade de avaliação. Assim, a detecção do grau de multicolinearidade foi realizada em:

- a) 9 a 40 cultivares (27 a 120 parcelas), randomizados em três blocos (TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013b);
- b) 12 a 40 cultivares (36 a 120 parcelas), randomizados em três blocos (TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013a);
- c) 36 híbridos de ciclo precoce e 22 de ciclo superprecoce, totalizando 108 e 66 parcelas, respectivamente (ALVES; CARGNELUTTI FILHO; BURIN, 2017);
- d) 18 híbridos transgênicos (54 parcelas) (ALVES et al., 2016; ALVES; CARGNELUTTI FILHO; BURIN, 2017);

- e) 361, 373 e 416 plantas de híbridos simples, triplo e duplo em ensaio na safra de 2008/2009 e 1777, 1693 e 1720 plantas de híbridos simples, triplo e duplo em ensaio na safra de 2009/2010, respectivamente (TOEBE et al., 2017c);
- f) 15 híbridos simples conduzidos em três locais e quatro repetições, totalizando 180 parcelas (OLIVOTO et al., 2017b).

Os estudos mencionados acima utilizaram os mais diferentes tamanhos de amostras. Não há indicação de qual o tamanho de amostra referência para detectar o grau de multicolinearidade para o centeio ou em outra cultura agrícola. Até então, foi sugerido haver a necessidade de amostras superiores a 45 plantas com intervalo de confiança de 95%, em estudo realizado em tomate cereja utilizando o *DET* (SARI et al., 2018).

## 2.8 TÉCNICA DE REAMOSTRAGEM

O tamanho de amostra tem relação direta com a variabilidade dos dados e com o grau de confiança desejado nas estimativas dos parâmetros. A sua determinação pode ser realizada por meio de expressão com base na distribuição *t* de *Student* (BUSSAB; MORETIN, 2013) ou pelo intervalo de confiança de *bootstrap* (FERREIRA, 2009).

O método de reamostragem *bootstrap* foi elaborado por Efron (1979). Este método pertence à classe de métodos de computação intensiva, juntamente com métodos *Monte Carlo*, aleatorização e *Jackknife* (FERREIRA, 2013). O autor aponta algumas características:

- a) Método *Monte Carlo*: possibilita ser usado na avaliação de propriedades de estimadores de um novo teste estatístico proposto, determinação do tamanho amostral e comparação de testes e métodos de estimação em que se conheça a distribuição de probabilidade da população;
- b) Método *Jackknife*: caracteriza-se pela eliminação de uma observação e tem como limitação a necessidade da amostra atender o pressuposto da normalidade;
- c) Método *bootstrap*: baseia-se em reamostragens com reposição, enquanto que os testes de aleatorização são baseados em permutações de observações da amostra original, ou seja, as reamostragens são realizadas sem reposição.

Os últimos dois métodos têm como característica intrínseca de poderem ser realizados para a inferência sobre população a partir de pequenas amostras. O método de reamostragem via *bootstrap* baseia-se na geração de outras subamostras a partir da amostra original (amostra

mestre), com reposição, simulando outras novas amostras. O uso de simulação objetiva obter resultados representativos da população, simulando a obtenção de novas amostras, o que na prática não seria possível pela impossibilidade de repetição do experimento (BUSSAB; MORETIN, 2013).

Quando da proposição da metodologia, o número de reamostragens necessário quando da proposição do método foi de 10.000 para a obtenção de estimativas confiáveis (EFRON, 1979), passando a ser constatado, pouco tempo depois, que tamanhos de reamostras iguais ou superiores a 1.000 reamostragens são suficientes (EFRON; TIBSHIRANI, 1986).

A técnica da reamostragem tem sido utilizada na determinação do tamanho de amostra para a estimação do número de plantas necessárias para a estimação da média, mediana, coeficiente de variação e relação entre caracteres. A determinação do tamanho de amostra para a estimativa da média foi realizada em:

- a) caracteres de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (LEITE et al., 2009);
- b) cenoura (*Daucus carota* L.) (SILVA; VIEIRA; VILLELA, 2009);
- c) caracteres morfológicos de frutos de espécies de pimenteira (*Capsicum spp.*) (SILVA; RÊGO; CECON, 2011);
- d) caracteres de tremoço branco (*Lupinus albus* L.) (BURIN et al., 2014);
- e) caracteres morfológicos e produtivos de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018c);
- f) caracteres de sementes de feijão guandu anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018e);
- g) características de cultivares de centeio (BANDEIRA et al., 2018a).

Para a estimação da média e mediana por reamostragem, foi realizada em:

- a) caracteres morfológicos e produtivos de linho (*Linum usitatissimum* L.) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b);
- b) características de três híbridos de canola (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018d).

Para a estimação de média e coeficiente de variação, foram realizados estudos de tamanho de amostra em:

- a) híbridos simples, triplo e duplo de milho (*Zea mays*) (TOEBE et al., 2014);
- b) quatro espécies de crotalárias (*Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *C. breviflora* e *C. ochroleuca*) (TOEBE et al., 2018).

A determinação do tamanho de amostra para a estimação da relação entre caracteres, foi realizado com o estudo de:

- a) coeficiente de correlação linear de Pearson em caracteres de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2011);
- b) coeficiente de correlação linear de Pearson em caracteres de híbridos simples, triplo e duplo de milho (*Zea mays*) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2010b; TOEBE et al., 2015);
- c) efeitos diretos sobre a produtividade de híbridos de milho (*Zea mays*), utilizando a análise de trilha (TOEBE et al., 2017a).

## 2.9 MODELOS DE REGRESSÃO

Os modelos de regressão são comumente utilizados nas ciências agrárias, bem como em outras áreas do conhecimento, para descrever e/ou prever o comportamento do objeto de estudo. Entre os estudos, o dimensionamento do experimento tem sido realizado utilizando o método da máxima curvatura modificada (*MMCM*), o modelo linear segmentado com reposta platô (*MLRP*) e modelo quadrático segmentado com reposta platô (*MQRP*).

Estes métodos são utilizados, principalmente, para a determinação do tamanho ótimo de parcela. Esses métodos foram utilizados para estimação do tamanho, por exemplo, nas culturas de maracujazeiro (PEIXOTO; FARIA; MORAIS, 2011), rabanete (SILVA et al., 2012), mamoeiro (SCHMILDT et al., 2016) e batata doce (RODRÍGUEZ et al., 2018).

### 2.9.1 Método da máxima curvatura modificado

O método da máxima curvatura modificado surgiu com a modificação do Método de Inspeção Visual da Curvatura Máxima, por Lessman e Atkins (1963). O método relaciona o coeficiente de variação e o tamanho ótimo de parcela:

$$CV_{(X)} = A/X^B \quad (3)$$

onde: ( $CV_{(X)}$ ) é o coeficiente de variação;  $X$  é o tamanho de parcela; e  $A$  e  $B$  são parâmetros do modelo. A curvatura será máxima, quando (MEIER; LESSMAN, 1971):

$$\widehat{X}_{CM} = \left[ \frac{\hat{A}^2 \hat{B}^2 (2\hat{B} - 1)}{(\hat{B} - 2)} \right]^{1/2-2\hat{B}} \quad (4)$$

onde:  $\widehat{X}_{CM}$  é a estimativa correspondente ao tamanho de parcela máximo;  $\widehat{A}$  e  $\widehat{B}$  são estimativas dos parâmetros  $A$  e  $B$ , respectivamente.

### 2.9.2 Modelo linear segmentado com resposta platô

Este modelo pertence aos modelos segmentados e possui duas retas conectadas por um ponto em comum, sendo a segunda reta de coeficiente angular nulo (SCHABENBERGER; PIERCE, 2001). Este modelo descreve uma reta crescente ou decrescente de acordo com o coeficiente angular ( $\beta_1$ ) e outra reta horizontal ao eixo das abcissas, com altura  $P$  (platô). O método possui a função:

$$Y_i = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i & \text{se } X_i \leq X_c \\ P + \varepsilon_i & \text{se } X_i > X_c \end{cases} \quad (5)$$

em que:  $Y_i$  é a variável dependente;  $X_i$  é a variável independente;  $\beta_0$  é o intercepto do modelo linear;  $\beta_1$  é coeficiente angular;  $\varepsilon_i$  é o erro associado à  $i$ -ésima observação;  $P$  é o platô; e  $X_c$  é o ponto crítico correspondente a união das duas retas. O ponto crítico, que satisfaz a condição, é estimado por:

$$X_c = (\widehat{P} - \widehat{\beta}_0) / \widehat{\beta}_1 \quad (6)$$

onde:  $\widehat{P}$ ,  $\widehat{\beta}_0$  e  $\widehat{\beta}_1$  são estimativas dos parâmetros  $P$ ,  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , respectivamente.

### 2.9.3 Modelo quadrático segmentado com resposta platô

De maneira semelhante ao anterior, o modelo quadrático segmentado com resposta platô possui duas partes, sendo uma delas quadrática e a outra, linear e com coeficiente angular nulo. O modelo possui função:

$$Y_i = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_i & \text{se } X_i \leq X_c \\ P + \varepsilon_i & \text{se } X_i > X_c \end{cases} \quad (7)$$

em que:  $Y_i$  é a variável dependente;  $X_i$  é a variável independente;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são parâmetros do modelo;  $\varepsilon_i$  é o erro associado à  $i$ -ésima observação;  $P$  é o platô; e  $X_c$  é o ponto crítico e correspondente a união entre a equação quadrática e o platô.

A união entre as duas equações é dada por:

$$X_c = -\widehat{\beta}_1 / 2 * \widehat{\beta}_2 \quad (8)$$



e o valor correspondente da variável  $Y_i$  ao ponto  $X_i$ , é:

$$Y_n = \widehat{\beta}_0 - \widehat{\beta}_1^2 / 4 * \widehat{\beta}_2 \quad (9)$$

onde:  $\widehat{\beta}_0$ ,  $\widehat{\beta}_1$  e  $\widehat{\beta}_2$  são estimativas dos parâmetros do modelo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dez ensaios de uniformidade (experimentos em branco) em cinco épocas de semeadura e duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.) em área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a 29°42'S, 53°49'W e 95 m de altitude. O clima da região é classificado por Köppen como Cfa - subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). O solo da região é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (SANTOS et al., 2018).

A área experimental foi preparada de forma homogênea. A fertilidade do solo foi corrigida com a aplicação de 500 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante (formulação 5-20-20 de NPK). Foram semeadas duas cultivares de centeio, ou seja, a cultivar BRS Progresso com propósito de produção de grãos e a cultivar Temprano com propósito para a cobertura de solo e planta forrageira. As sementes de cada cultivar foram semeadas, a lanço, em área de 320 m<sup>2</sup> (20 m × 16 m) na primeira época, enquanto que nas demais épocas, cada cultivar foi instalada em área de 375 m<sup>2</sup> (25 m × 15 m).

As épocas de semeadura foram planejadas para atenderem a recomendação de implantação de ambas as cultivares, ou seja, de março a julho (BAIER, 1994). Cultivares com propósito para a produção de pastagem devem ser semeadas entre março e maio, enquanto que para a produção de grãos, a semeadura deve ser realizada nos meses de junho e julho.

Em ambas cultivares e nas épocas de semeadura foi usada a densidade de 455 sementes m<sup>-2</sup>. Aos quinze dias após a semeadura foi determinado o estande de plantas em cinco locais por ensaio (E), com a contagem do número de plantas contidas em área de 1 m<sup>2</sup> (Tabela 1). A adubação de cobertura foi realizada na quantidade de 25 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio quando as plantas estavam entre os estádios com três e quatro folhas desenvolvidas, estádios 13 e 14, respectivamente, de acordo com escala fenológica para os cereais (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974). Os demais tratos culturais foram realizados conforme necessidade e recomendações de manejo para a cultura de centeio (BAIER, 1994).

As avaliações foram realizadas para cada cultivar e época de semeadura, com exceção na cultivar Temprano para as duas últimas épocas. Nesses ensaios, não houve a formação de grãos. Assim, oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8) foram considerados, formados por cinco épocas de semeadura para a cultivar BRS Progresso (E1, E2, E3, E4 e E5) e três épocas de semeadura para a cultivar Temprano (E6, E7 e E8), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Datas de semeadura, de emergência, de florescimento e de colheita, estande de plantas (EP = número de plantas m<sup>-2</sup>) e número de dias entre a semeadura e a avaliação<sup>1</sup> (Ciclo) em duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), conduzidos em Santa Maria – RS, Safra 2016.

Cultivar	Época	Ensaio	Datas				EP	Ciclo
			Semeadura	Emergência	Florescimento	Avaliação <sup>1</sup>		
BRS Progresso	1	E1	03/05/2016	09/05/2016	08/08/2016	24/10/2016	365	174
BRS Progresso	2	E2	25/05/2016	01/06/2016	26/08/2016	10/11/2016	263	169
BRS Progresso	3	E3	07/06/2016	17/06/2016	15/09/2016	19/11/2016	262	165
BRS Progresso	4	E4	22/06/2016	29/06/2016	22/09/2016	27/11/2016	204	158
BRS Progresso	5	E5	04/07/2016	10/07/2016	29/09/2016	02/12/2016	344	151
Temprano	1	E6	03/05/2016	10/05/2016	22/09/2016	07/11/2016	284	188
Temprano	2	E7	25/05/2016	02/06/2016	03/10/2016	18/11/2016	204	177
Temprano	3	E8	07/06/2016	20/06/2016	10/10/2016	24/11/2016	369	170

<sup>1</sup>Coleta e avaliação das plantas quando a cultura encontrava-se em estágio de maturação fisiológica dos grãos (94), segundo a escala de Zadoks para os cereais (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

Em cada ensaio de uniformidade (cultivar × época de semeadura) foram coletadas 100 plantas de forma aleatória, quando as plantas estavam em estágio de maturação fisiológica dos grãos (94) (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974). Em cada planta foram mensurados dois grupos de caracteres, sendo eles, oito caracteres morfológicos e sete caracteres produtivos. Os caracteres morfológicos mensurados em cada planta foram:

- a) Número de colmos planta<sup>-1</sup> (NCP = colmo principal + afilhos);
- b) Número de nós planta<sup>-1</sup> (NNP – soma número de nós de colmos planta<sup>-1</sup>);
- c) Número de nós colmo<sup>-1</sup> (NNC – média de colmos planta<sup>-1</sup>);
- d) Comprimento de colmo da planta, em cm (CCP – média de colmos planta<sup>-1</sup>);
- e) Comprimento de pedúnculo da planta, em cm (CPP – média de colmos planta<sup>-1</sup>), definido como sendo a porção do colmo entre o último nó e inserção da espiga no colmo;
- f) Comprimento de espiga da planta, em cm (CEP – média de colmos planta<sup>-1</sup>), definido como sendo a porção entre a inserção da espiga no colmo até a última espigueta;
- g) Altura de planta de colmo principal, em cm (APP);
- h) Altura média colmos da planta, em cm (ACP – média de colmos planta<sup>-1</sup>), definido como sendo a porção entre a base da planta até a última espigueta.

Os caracteres produtivos avaliados em cada planta foram:

- a) Massa fresca de parte aérea da planta, em gramas (MFP – soma de massas de colmos e folhas planta<sup>-1</sup>), sendo desconsiderado a massa de espiga;

- b) Massa seca de parte aérea da planta, em gramas (MSP – soma de colmos e folhas planta<sup>-1</sup>), obtido após a secagem em estufa de circulação forçada de MFP, em temperatura de 65°±5°C, até peso constante;
- c) Número de espiguetas espiga<sup>-1</sup> (NSE – média de espiguetas espiga<sup>-1</sup>);
- d) Número de grãos espiga<sup>-1</sup> (NGE – número médio de grãos espiga<sup>-1</sup>);
- e) Número de grãos espigueteta<sup>-1</sup> (NGS – número médio de grãos espigueteta<sup>-1</sup>);
- f) Massa de grãos planta<sup>-1</sup>, em gramas (MGP – soma de massa de grãos planta<sup>-1</sup>);
- g) Massa média de 100 grãos, em gramas (M100).

Os dados coletados para cada planta dos caracteres morfológicos e produtivos foram considerados como sendo a amostra mestre de estudo.

Para cada caractere dentro de cada grupo, foram estimadas as estatísticas: mínimo, máximo, média, desvio-padrão, coeficiente de variação, valor-p do teste de Shapiro-Wilk para a normalidade, assimetria e curtose da amostra mestre em cada ensaio. Para os testes de assimetria e curtose foi testado o nível de significância a 5% de probabilidade de erro. Também para cada grupo de caracteres, foram estimadas as matrizes de correlação linear de Pearson e testado a significância das correlações por meio de teste *t* de Student a 5% de probabilidade de erro.

Foram planejados casos de estudo para cada grupo de caracteres, combinando  $r = (p - 2)$  caracteres, sem reposição, obtidos pela combinação de  $p$  caracteres tomados  $r$  a  $r$ , onde  $p$  é o número de caracteres avaliados dentro de cada grupo –  $C_{(p,r)}$ . Dessa forma, foram planejados 28 e 21 casos de estudo para os grupos de caracteres morfológicos e produtivos, respectivamente. Os 28 casos foram obtidos pela combinação de oito caracteres morfológicos combinados seis a seis –  $C_{(8,6)}$ , totalizando 224 casos de estudo (8 ensaios × 28 casos ensaio<sup>-1</sup>) e 21 casos de estudo em cada ensaio, obtidos pela combinação de sete caracteres produtivos combinados cinco a cinco –  $C_{(7,5)}$ , totalizando 168 casos de estudo (8 ensaios × 21 casos ensaio<sup>-1</sup>). Os caracteres dentro de cada grupo e caso de estudo estão apresentados na Tabela 2.

Em cada caso de estudo, considerando a amostra mestre, foi estimado o grau de multicolinearidade pelos indicadores: número de condição (*NC*); determinante da matriz de correlação (*DET*); e, fator de inflação da variância (*FIV*). Considerando que cada caractere tem um valor de *FIV*, nesse estudo, foi considerado apenas o maior valor de *FIV*. Dos 28 casos de estudo inicialmente planejados, foram descartados seis casos em que as estimativas do grau de multicolinearidade foram extremamente severas ( $8,28 \times 10^{15} \leq NC \leq 3,36 \times 10^{17}$ ) e para *FIV* resultou em valores considerados computacionalmente como infinitos. Assim, dos 224 casos

de estudos planejados inicialmente para o grupo de caracteres morfológicos, foram utilizados ao total, 176 casos de estudo (8 ensaios  $\times$  22 casos ensaio<sup>-1</sup>). O grau de multicolinearidade para cada um dos 28 casos e oito ensaios estão apresentados na Tabela 6 para os caracteres morfológicos e para cada um dos 21 casos na Tabela 14 para os caracteres produtivos.

Tabela 2 – Combinações dos caracteres dos grupos de caracteres morfológicos e produtivos para cada caso de estudo em ensaio com o centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos em Santa Maria – RS, Safra 2016.

Caso	Caracteres morfológicos						Caracteres produtivos				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
1	APP	ACP	CCP	CEP	CPP	NCP	MFP	MSP	NGE	NGS	NSE
2	APP	ACP	CCP	CEP	CPP	NNC	MFP	MSP	NGE	NGS	M100
3	APP	ACP	CCP	CEP	CPP	NNP	MFP	MSP	NGE	NGS	MGP
4	APP	ACP	CCP	CEP	NCP	NNC	MFP	MSP	NGE	NSE	M100
5	APP	ACP	CCP	CEP	NCP	NNP	MFP	MSP	NGE	NSE	MGP
6	APP	ACP	CCP	CEP	NNC	NNP	MFP	MSP	NGE	M100	MGP
7	APP	ACP	CCP	CPP	NCP	NNC	MFP	MSP	NGS	NSE	M100
8	APP	ACP	CCP	CPP	NCP	NNP	MFP	MSP	NGS	NSE	MGP
9	APP	ACP	CCP	CPP	NNC	NNP	MFP	MSP	NGS	M100	MGP
10	APP	ACP	CCP	NCP	NNC	NNP	MFP	MSP	NSE	M100	MGP
11	APP	ACP	CEP	CPP	NCP	NNC	MFP	NGE	NGS	NSE	M100
12	APP	ACP	CEP	CPP	NCP	NNP	MFP	NGE	NGS	NSE	MGP
13	APP	ACP	CEP	CPP	NNC	NNP	MFP	NGE	NGS	M100	MGP
14	APP	ACP	CEP	NCP	NNC	NNP	MFP	NGE	NSE	M100	MGP
15	APP	ACP	CPP	NCP	NNC	NNP	MFP	NGS	NSE	M100	MGP
16	APP	CCP	CEP	CPP	NCP	NNC	MSP	NGE	NGS	NSE	M100
17	APP	CCP	CEP	CPP	NCP	NNP	MSP	NGE	NGS	NSE	MGP
18	APP	CCP	CEP	CPP	NNC	NNP	MSP	NGE	NGS	M100	MGP
19	APP	CCP	CEP	NCP	NNC	NNP	MSP	NGE	NSE	M100	MGP
20	APP	CCP	CPP	NCP	NNC	NNP	MSP	NGS	NSE	M100	MGP
21	APP	CEP	CPP	NCP	NNC	NNP	NGE	NGS	NSE	M100	MGP
22	ACP	CCP	CEP	CPP	NCP	NNC					
23	ACP	CCP	CEP	CPP	NCP	NNP					
24	ACP	CCP	CEP	CPP	NNC	NNP					
25	ACP	CCP	CEP	NCP	NNC	NNP					
26	ACP	CCP	CPP	NCP	NNC	NNP					
27	ACP	CEP	CPP	NCP	NNC	NNP					
28	CCP	CEP	CPP	NCP	NNC	NNP					

A determinação do tamanho de amostra para a detecção do grau de multicolinearidade dentro de cada grupo de caracteres e para cada indicador foi realizada dentro de cada um dos 176 e 168 casos de estudo para os caracteres morfológicos e produtivos, respectivamente. Para tanto, foram planejados 197 tamanhos de amostra. O primeiro tamanho de amostra planejado

foi composto por observações de 20 plantas. Os tamanhos de amostra planejados seguintes foram obtidos com o acréscimo de cinco plantas, até o último tamanho, contendo 1.000 plantas. Assim, dentro de cada caso de estudo, foram planejados os tamanhos de amostra de 20, 25, 30, ..., 1.000 plantas. Foi considerado o último tamanho de amostra composto por 1.000, pois não foi constatado a estabilização no valor médio da estimativa do grau de multicolinearidade com tamanhos inferiores a 1.000 plantas. Em seguida, dentro de cada grupo de caracteres, para cada tamanho de amostra planejado, foram realizadas 2.000 reamostragens com reposição, estimados o grau de multicolinearidade para cada indicador e em seguida, calculado o valor médio do grau de multicolinearidade.

Inicialmente foi proposto a determinação do tamanho de amostra ao nível de precisão desejado pelo intervalo de confiança de *bootstrap*. A metodologia consiste na ordenação das amostras e calcular os percentil superior e inferior com amplitude do intervalo de confiança (AIC) desejado (FERREIRA, 2013). Ou seja, admitindo AIC de  $1-\alpha$ , tem-se o percentil inferior  $P_{\alpha/2}$  e o percentil superior  $P_{1-\alpha/2}$ . Logo, o AIC é determinado pela diferença entre o percentil superior e o percentil inferior ( $AIC_{1-\alpha} = P_{1-\alpha/2} - P_{\alpha/2}$ ).

As estimativas médias do grau de multicolinearidade apresentaram comportamento exponencial e semi-amplitude do intervalo de confiança não simétricos. Devido a semi-amplitude do intervalo de confiança inferior ( $P_{\alpha/2} - \text{média}$ ) ser muito menor que a semi-amplitude do intervalo de confiança superior ( $\text{média} - P_{1-\alpha/2}$ ), foi optado pela determinação do tamanho de amostra pela regressão não linear.

Assim, a determinação do tamanho de amostra foi realizada com o ajuste por:

- a) método da máxima curvatura modificado (*MMCM*);
- b) modelo linear segmentado com resposta platô (*MLRP*);
- c) modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*).

Foi considerado no ajuste, o indicador como sendo função do tamanho de amostra, ou seja, o indicador como sendo a varável dependente ( $Y_i$ ) e os 197 tamanhos de amostra planejados como a variável independente ( $X_i$ ). Em cada um deles foram obtidos os valores correspondentes ao tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para  $n$  ( $Y_n$ ) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ).

Foram determinados os coeficientes  $a$  e  $b$  para o modelo *MMCM*, pela expressão:

$$Y_i = a/X_i^b + \varepsilon_i \quad (10)$$

onde:  $X_i$  é a variável independente, ou seja, os tamanhos de amostra planejado (20, 25, 30, ..., 1.000 plantas) e  $Y_i$  é a variável dependente referente ao valor de cada indicador do grau de multicolinearidade. O tamanho de amostra ( $n$ ) foi determinado por:

$$n = \left[ \frac{a^2 b^2 (2b - 1)}{(b - 2)} \right]^{1/2-2b} \quad (11)$$

e o ponto correspondente ao  $n$  por:

$$Y_n = a/n^b \quad (12)$$

onde  $a$  e  $b$  são os parâmetros do modelo ajustado.

Para o *MLRP*, foram ajustadas duas retas, considerando a primeira reta até o ponto correspondente ao tamanho de amostra ( $n$ ), com coeficiente angular não nulo (positivo ou negativo) e outra reta correspondendo ao platô ( $P$ ). Deste ponto  $n$  em diante, a segunda reta possui o coeficiente angular nulo e valor correspondente à ordenada correspondente ao platô. O *MLRP* foi ajustado segundo a função:

$$Y_i \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i & \text{se } X_i \leq n \\ P + \varepsilon_i & \text{se } X_i > n \end{cases} \quad (13)$$

em que:  $X_i$  é a variável independente, ou seja, os tamanhos de amostra planejado (20, 25, 30, ..., 1.000 plantas);  $Y_i$  é a variável dependente referente ao valor de cada indicador do grau de multicolinearidade;  $\beta_0$  é o intercepto do modelo linear;  $\beta_1$  é coeficiente angular;  $\varepsilon_i$  é o erro associado à  $i$ -ésima observação;  $P$  é o platô ou ( $Yn$ ); e  $n$  é o ponto correspondente ao tamanho de amostra e o ponto de junção das duas retas.

No *MQRP*, o ajuste é realizado por meio de duas equações, onde a primeira parte até o ponto  $n$  a equação é grau de ordem dois e altura  $P$  e a segunda equação com altura referente ao  $P$ . O modelo para *MQRP* considerado foi de acordo pela função:

$$Y_i \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_i & \text{se } X_i \leq n \\ P + \varepsilon_i & \text{se } X_i > n \end{cases} \quad (14)$$

onde:  $X_i$  é a variável independente, ou seja, os tamanhos de amostra planejado (20, 25, 30, ..., 1.000 plantas);  $Y_i$  é a variável dependente referente ao valor do grau de multicolinearidade a cada indicador;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os parâmetros do modelo;  $\varepsilon_i$  é o erro associado à  $i$ -ésima observação;  $P$  é o platô; e,  $n$  é a estimativa do tamanho de amostra e o ponto de união entre as duas funções. Para a determinação de  $n$ , foi considerado:

$$n = -\widehat{\beta}_1/2 * \widehat{\beta}_2 \quad (15)$$

e o valor correspondente do indicador do grau de multicolinearidade para  $n$  na ordenada ( $Y_n$ ) por:

$$Y_n = \widehat{\beta}_0 - \widehat{\beta}_1^2/4 * \widehat{\beta}_2 \quad (16)$$

onde:  $\widehat{\beta}_0$ ,  $\widehat{\beta}_1$  e  $\widehat{\beta}_2$  são estimativas dos parâmetros de *MQRP*.

Em seguida, para cada modelo e ensaio dentro cada um dos dois grupos de caracteres, foram determinados os valores mínimo, máximo e média do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para  $n$  ( $Y_n$ ) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) para os indicadores número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e o fator de inflação da variância (*FIV*).

Devido ao grande número de casos avaliados, foram plotados dois gráficos para cada um dos três indicadores, obtidos pelo ajuste por *MQRP*. Foi considerado dentre os ensaios, o que apresentou menor e maior estimativa do grau de multicolinearidade. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R TEAM CORE, 2018).

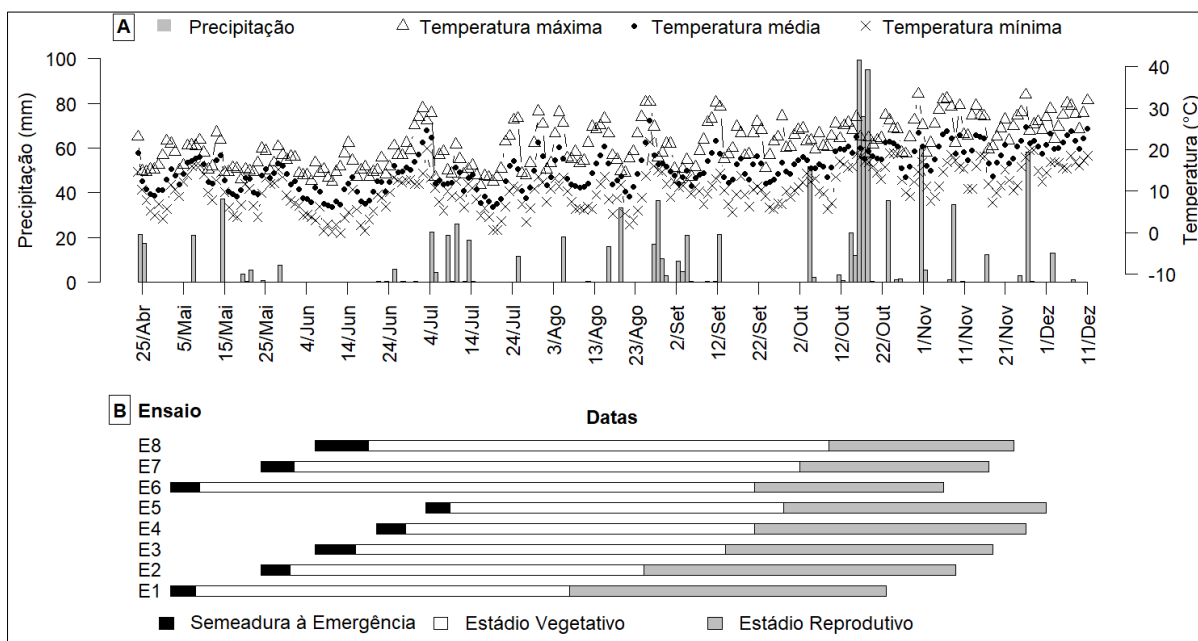


## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CULTURA

De maneira geral, o ciclo para as duas cultivares reduziu nas épocas de semeadura tardias e o ciclo para a cultivar BRS Progresso foi inferior quando comparado com o ciclo necessário para a cultivar Temprano (Tabela 1). Essa diminuição no ciclo pode estar relacionada com o aumento na temperatura média do ar, assim como as temperaturas mínimas e máximas, registradas durante o período de condução dos ensaios (Figura 2). O desenvolvimento das plantas da cultivar Temprano não foram avaliados nas épocas de semeaduras realizadas em 22/06/2016 e 04/07/2016, pois elas não chegaram a formar grãos. Possível causa da não formação de grãos para essas épocas de semeadura pode estar associada com as condições climáticas ocorridas no mês de outubro. Ocorreu neste mês, períodos de maior precipitação pluviométrica.

Figura 2 – Precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima diária (°C) [A] e representação do período correspondente para as fases semeadura à emergência e estádios morfológico e reprodutivo [B] de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos em oito<sup>1</sup> ensaios de uniformidade (cultivar × época de semeadura) na safra 2016 em Santa Maria – RS.



<sup>1</sup>Cultivar BRS Progresso: E1: época 1; E2: época 2; E3: época3; E4: época 4; E5: época 5; e Cultivar Temprano: E6: época 1; E7: época 2; E8: época 3.

A cultivar BRS Progresso necessitou de 174, 169, 165, 158 e 151 dias para completar o ciclo da primeira a quinta época de semeadura – ensaios E1, E2, E3, E4 e E5, respectivamente. Já a cultivar Temprano, necessitou de 188, 177 e 170 dias a primeira, segunda e terceira época de semeadura – ensaios E6, E7 e E8, respectivamente. Foi observado a diferença de ciclo entre as cultivares na mesma época de semeadura e redução do ciclo em épocas de semeadura tardias comparadas com as mais precoces para ambas as cultivares. Para a primeira época de semeadura, a diferença entre o ciclo de BRS Progresso (E1) e Temprano (E6) foi de 14 dias, passando para oito e cinco dias para a segunda (E2 × E7) e terceira época de semeadura (E3 × E8), respectivamente. Resultado semelhante foi encontrado para a cultivar Serrano, onde para datas de semeaduras precoces foi observado duração do ciclo vegetativo maior (FERRAZZA et al., 2013).

#### 4.2 CARACTERES MORFOLÓGICOS

A variabilidade constatada nas condições climáticas e a variabilidade de ciclo podem também ter interferido nas médias de oito caracteres morfológicos (Tabela 3). As médias para os caracteres morfológicos aumentaram no sentido da primeira época de semeadura (E1 e E6) a terceira época de semeadura (E3 e E8) em ambas as cultivares, com exceção para os caracteres número de nós planta<sup>-1</sup> (NNP) e comprimento de espiga da planta (CEP). Em NNP e CEP, as maiores médias foram observadas na segunda época de semeadura. Resultado semelhante foi encontrado em estudo de dimensionamento amostral para a média de caracteres em estágio de florescimento em centeio, onde as médias foram influenciadas pela época de semeadura (BANDEIRA et al., 2018a).

O coeficiente de variação (CV), considerando a média em oito ensaios, oscilou entre 8,76% e 47,92%, valores correspondentes aos caracteres altura média de colmos da planta (ACP) e número de colmos planta<sup>-1</sup> (NCP), respectivamente (Tabela 4). Quando considerado as observações dentro de cada ensaio, os caracteres de maior variabilidade foram NCP e NNP com CV superior a 37,15%. Estes dois caracteres também apresentaram o CV médio superior a 47,87%, e juntamente com o caractere número de nós colmo<sup>-1</sup> (NNC), não normalidade significativa a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Shapiro-Wilk para todos os ensaios.

Tabela 3 – Mínimo, máximo, média e desvio-padrão de oito caracteres morfológicos avaliados em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), em duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Caracteres							
	NCP (unid. <sup>2</sup> )	NNP (unid.)	NNC (unid.)	CCP (cm)	CPP (cm)	CEP (cm)	APP (cm)	ACP (cm)
----- Mínimo -----								
E1	1	4	4	60,37	38,97	6,60	117,67	123,10
E2	1	5	4	82,67	27,65	9,70	135,90	141,60
E3	1	5	4	64,07	26,80	8,90	117,03	131,30
E4	1	4	4	76,50	29,30	7,50	118,30	118,30
E5	1	3	3	40,50	21,50	6,40	85,85	93,00
E6	1	4	3	59,75	29,47	5,10	100,35	109,90
E7	1	5	4	77,00	24,07	8,20	128,58	125,10
E8	1	4	4	79,40	18,03	7,60	121,73	140,10
Média <sup>3</sup>	1,0	4,3	3,8	67,5313	26,9729	7,5000	115,6756	122,8000
----- Máximo -----								
E1	4	19	6	114,35	64,00	15,57	174,30	181,70
E2	10	51	6	130,20	58,05	18,80	182,28	186,30
E3	5	26	6	136,43	56,10	19,30	198,63	204,10
E4	4	20	6	124,30	66,30	17,20	199,00	201,00
E5	5	20	6	126,80	62,10	17,30	198,30	198,30
E6	4	20	6	113,60	64,30	17,70	181,20	181,20
E7	12	60	7	141,20	58,88	18,35	204,80	204,80
E8	8	42	7	131,80	64,10	17,90	202,95	212,20
Média	6,5	32,3	6,2	127,3344	61,7281	17,7646	192,6819	196,2000
----- Média -----								
E1	1,93	9,45	4,94	88,4007	48,0681	10,6023	147,0711	150,3060
E2	3,70	18,43	4,99	103,7889	40,3284	14,6412	158,7586	166,1640
E3	2,42	12,32	5,15	103,0507	39,9669	13,3579	156,3756	163,4670
E4	1,88	9,18	4,90	100,6846	43,8442	12,7294	157,2581	160,9133
E5	1,62	7,41	4,59	95,9365	45,8626	10,5176	152,3166	155,6840
E6	1,85	8,36	4,54	87,5279	46,5709	11,2992	145,3980	150,3400
E7	3,92	20,33	5,21	104,0277	46,9321	13,0686	164,0285	175,2540
E8	2,74	14,46	5,30	110,2145	41,8293	12,4884	164,5322	174,9589
Média	2,5078	12,4917	49,526	99,2039	44,1753	12,3381	155,7173	162,1359
----- Desvio-padrão -----								
E1	0,7555	3,5601	0,4448	9,8433	5,1147	1,9787	11,4937	11,2943
E2	1,7667	8,8868	0,4726	9,3824	5,8833	1,9362	11,1162	10,5426
E3	1,0934	5,4752	0,4839	12,6475	5,9678	1,9240	15,0487	12,7406
E4	0,8973	4,4560	0,4799	9,7764	7,6459	2,1165	15,1948	16,1412
E5	0,8502	3,8352	0,5819	12,7778	7,3506	2,3038	17,4193	17,7398
E6	0,6872	3,2020	0,5363	11,9658	5,9272	2,5315	15,4003	14,7349
E7	2,2324	11,5855	0,4761	12,1593	6,4492	2,4200	14,6049	14,6904
E8	1,5619	8,2396	0,5182	10,2928	10,5825	1,9061	16,6439	15,4377
Média	1,2306	6,1550	0,4992	11,1057	6,8652	2,1396	14,6152	14,1652

<sup>1</sup>Ensaio descrito na Tabela 1. <sup>2</sup>Unidades. <sup>3</sup>Valores médios obtidos das estimativas de oito ensaios.

Tabela 4 – Coeficiente de variação (em porcentagem), valor-p do teste de Shapiro-Wilk para a normalidade e coeficientes de assimetria e curtose de oito caracteres morfológicos avaliados em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), em duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Caracteres							
	NCP	NNP	NNC	CCP	CPP	CEP	APP	ACP
----- Coeficiente de variação (%) -----								
E1	39,15	37,67	9,00	11,13	10,64	18,66	7,82	7,51
E2	47,75	48,22	9,46	9,04	14,59	13,22	7,00	6,34
E3	45,18	44,44	9,39	12,27	14,93	14,40	9,62	7,79
E4	47,78	48,55	9,80	9,71	17,44	16,63	9,66	10,03
E5	52,48	51,76	12,68	13,32	16,03	21,90	11,44	11,39
E6	37,15	38,30	11,82	13,67	12,73	22,40	10,59	9,80
E7	56,95	56,99	9,14	11,69	13,74	18,52	8,90	8,38
E8	56,91	57,00	9,78	9,34	25,30	15,26	10,12	8,82
Média <sup>2</sup>	47,92	47,87	10,13	11,27	15,67	17,63	9,39	8,76
----- Normalidade -----								
E1	0,0000	0,0000	0,0000	0,9736	0,0972	0,3934	0,7728	0,6535
E2	0,0000	0,0016	0,0086	0,8768	0,0611	0,7694	0,3241	0,2372
E3	0,0000	0,0001	0,0000	0,2550	0,4596	0,6024	0,8114	0,5765
E4	0,0000	0,0000	0,0000	0,9698	0,1340	0,0645	0,7315	0,3294
E5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5901	0,2426	0,0012	0,0019
E6	0,0000	0,0000	0,0000	0,7911	0,8333	0,7270	0,2112	0,2411
E7	0,0000	0,0000	0,0001	0,6131	0,0388	0,0569	0,3903	0,0785
E8	0,0000	0,0000	0,0004	0,2515	0,3540	0,4944	0,6012	0,5940
Geral <sup>3</sup>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0044	0,9234	0,2004	0,0017	0,0122
----- Assimetria -----								
E1	0,539*	0,452 <sup>ns</sup>	0,075 <sup>ns</sup>	0,023 <sup>ns</sup>	0,458 <sup>ns</sup>	0,238 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,051 <sup>ns</sup>
E2	0,760*	0,773*	-0,040 <sup>ns</sup>	0,019 <sup>ns</sup>	0,550*	-0,160 <sup>ns</sup>	-0,034 <sup>ns</sup>	-0,180 <sup>ns</sup>
E3	0,508*	0,630*	0,351 <sup>ns</sup>	-0,367 <sup>ns</sup>	0,352 <sup>ns</sup>	0,353 <sup>ns</sup>	-0,032 <sup>ns</sup>	0,256 <sup>ns</sup>
E4	0,617*	0,651*	-0,050 <sup>ns</sup>	0,013 <sup>ns</sup>	0,496*	-0,434 <sup>ns</sup>	0,228 <sup>ns</sup>	0,244 <sup>ns</sup>
E5	1,504*	1,195*	-0,012 <sup>ns</sup>	-1,281*	-0,169 <sup>ns</sup>	0,275 <sup>ns</sup>	-0,752*	-0,801*
E6	0,387 <sup>ns</sup>	0,578*	0,071 <sup>ns</sup>	-0,018 <sup>ns</sup>	-0,094 <sup>ns</sup>	0,196 <sup>ns</sup>	-0,427 <sup>ns</sup>	-0,420 <sup>ns</sup>
E7	1,420*	1,346*	0,459 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	-0,661*	0,343 <sup>ns</sup>	-0,245 <sup>ns</sup>	-0,523*
E8	1,088*	1,126*	-0,162 <sup>ns</sup>	-0,444 <sup>ns</sup>	0,040 <sup>ns</sup>	0,271 <sup>ns</sup>	-0,154 <sup>ns</sup>	-0,137 <sup>ns</sup>
Geral	1,872*	1,902*	-0,092 <sup>ns</sup>	-0,294*	-0,088 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	-0,168 <sup>ns</sup>	-0,139 <sup>ns</sup>
----- Curtose -----								
E1	0,061 <sup>ns</sup>	-0,190 <sup>ns</sup>	1,033*	0,205 <sup>ns</sup>	0,338 <sup>ns</sup>	-0,053 <sup>ns</sup>	-0,078 <sup>ns</sup>	0,342 <sup>ns</sup>
E2	0,730 <sup>ns</sup>	0,808 <sup>ns</sup>	-0,089 <sup>ns</sup>	-0,294 <sup>ns</sup>	0,475 <sup>ns</sup>	-0,218 <sup>ns</sup>	-0,643 <sup>ns</sup>	-0,482 <sup>ns</sup>
E3	-0,476 <sup>ns</sup>	-0,288 <sup>ns</sup>	-0,253 <sup>ns</sup>	0,308 <sup>ns</sup>	-0,102 <sup>ns</sup>	0,267 <sup>ns</sup>	-0,004 <sup>ns</sup>	0,506 <sup>ns</sup>
E4	-0,654 <sup>ns</sup>	-0,590 <sup>ns</sup>	0,721 <sup>ns</sup>	-0,124 <sup>ns</sup>	0,054 <sup>ns</sup>	-0,360 <sup>ns</sup>	0,116 <sup>ns</sup>	0,108 <sup>ns</sup>
E5	2,240*	0,828 <sup>ns</sup>	0,227 <sup>ns</sup>	3,809*	0,076 <sup>ns</sup>	-0,229 <sup>ns</sup>	2,461*	1,994*
E6	-0,160 <sup>ns</sup>	0,595 <sup>ns</sup>	-0,098 <sup>ns</sup>	-0,515 <sup>ns</sup>	0,366 <sup>ns</sup>	-0,366 <sup>ns</sup>	0,402 <sup>ns</sup>	-0,146 <sup>ns</sup>
E7	2,305*	1,641*	1,426*	-0,070 <sup>ns</sup>	0,789 <sup>ns</sup>	-0,510 <sup>ns</sup>	0,076 <sup>ns</sup>	0,445 <sup>ns</sup>
E8	1,163*	1,234*	0,129 <sup>ns</sup>	0,080 <sup>ns</sup>	-0,689 <sup>ns</sup>	0,230 <sup>ns</sup>	0,031 <sup>ns</sup>	-0,347 <sup>ns</sup>
Geral	5,459*	5,245*	5,245*	0,298 <sup>ns</sup>	-0,009 <sup>ns</sup>	-0,331 <sup>ns</sup>	0,718*	0,454*

<sup>1</sup>Ensaio descrito na Tabela 1. <sup>2</sup>Valores médios obtidos das estimativas de oito ensaios. <sup>3</sup>Valores obtidos com base nas observações dos oito ensaios. \*Significativo a 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup>Não significativo.

Considerando o coeficiente de assimetria para os caracteres dentro de cada ensaio, NCP e NNP possuem distribuição assimétrica positiva, decorrentes de maior concentração dos dados abaixo da média. Quando considerado todos os dados, os coeficientes de assimetria para estes dois caracteres (1,872 e 1,902, respectivamente) foram superiores aos maiores coeficientes entre os ensaios com estimativas de 1,504 e 1,195 para NCP e NNP, respectivamente. Os outros caracteres possuem distribuição simétrica em todos os ensaios, com exceção dos caracteres CCP (E5), CPP (E2, E4 e E7), APP (E5) e ACP (E5 e E7).

De maneira geral, os coeficientes de curtose demonstram que os dados possuem distribuição mesocúrtica, com exceção dos caracteres NCP, NNP e NNC. Para estes caracteres, foi observado coeficientes significativos a 5% de probabilidade de erro e oscilaram entre 1,163 e 2,240. No entanto, maiores graus de curtose foram observados quando da análise dos dados de todos os ensaios, com coeficientes de 5,459; 5,245 e 5,245 para NCP, NNP e NNC, respectivamente. Estes resultados demonstram que estes caracteres apresentam distribuição leptocúrtica acentuada com curtose superior a 5,245.

Foi observado que assim como há variabilidade em caracteres morfológicos na cultura do centeio, também há variabilidade em caracteres das culturas aveia preta, centeio, crotalária e linho. Foi observado CV entre 7,24% e 67,96% em estudo para a determinação do tamanho de amostra em caracteres morfológicos e produtivos em aveia (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015),  $18,09\% \leq CV \leq 107,47\%$  (cultivar BRS Progresso) e  $21,63\% \leq CV \leq 131,72\%$  (cultivar Temprano) em centeio em estágio de pleno florescimento (BANDEIRA et al., 2018a),  $14,50\% \leq CV \leq 48,30\%$  em caracteres morfológicos de linho (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b) e  $5,40 \leq CV \leq 36,31\%$  em caracteres de quatro espécies de crotalárias (TOEBE et al., 2018).

Com relação a assimetria dos dados, o coeficiente em aveia preta oscilou entre -0,81 e 1,14 (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015) e entre -0,77 e 0,35 em espécies de crotalária (TOEBE et al., 2018). Quanto a curtose, foi observado coeficientes maiores que zero (leptocúrtica) em caracteres de centeio (BANDEIRA et al., 2018a). Os resultados destes estudos permitem inferir que a variabilidade presente em oito caracteres morfológicos oferece credibilidade aos resultados deste estudo.

Observando as matrizes de correlação linear de Pearson entre os caracteres, foi observado comportamento semelhante da magnitude de correlações entre os ensaios (Tabela 5), com pares de correlações altamente significativos, assim como correlações não significativas a 5% de probabilidade de erro pelo teste *t* de Student. Entre os 28 pares de correlações, foram observados 16, 18, 15, 16, 18, 18, 12 e 13 pares significativos pelo teste *t* a 5% de probabilidade de erro para os ensaios E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8, respectivamente. Os maiores

coeficientes de correlação foram verificados entre os caracteres  $NCP \times NNP$  ( $0,952 \leq r \leq 0,986$ ), comprimento de colmo da planta ( $CCP$ )  $\times$   $APP$  ( $0,834 \leq r \leq 0,737$ ) e  $APP \times ACP$  ( $0,792 \leq r \leq 0,950$ ).

Para cada caso, foram estimados o grau de multicolinearidade para a amostra mestre por meio dos indicadores número de condição ( $NC$ ), determinante da matriz de correlação ( $DET$ ) e fator de inflação da variância ( $FIV$ ). No entanto, na Tabela 6 foram apresentados para cada um dos 28 casos de estudo para o indicador  $NC$ . No estudo, foram desconsiderados os casos 1, 2, 3, 16, 17 e 18 pois apresentaram severo grau de multicolinearidade severas ( $8,28 \times 10^{15} \leq NC \leq 3,36 \times 10^{17}$ ) e não foi possível realizar as reamostragens para estes casos. Dentre os 176 casos, 26,13% casos apresentaram fraco grau de multicolinearidade ( $NC \leq 100$ ), enquanto que que 65,90% de moderado à forte ( $100 < NC \leq 1.000$ ) e 7,95% foi classificado como havendo multicolinearidade severa ( $NC > 1.000$ ) (MONTGOMERY; PECK, 1982).

O grau de multicolinearidade para cada caso e ensaio encontra-se na Tabela 6. O resumo do grau de multicolinearidade calculados pelo número de condição ( $NC$ ), determinante da matriz de correlação ( $DET$ ) e fator de inflação da variância ( $FIV$ ) estão apresentados na Tabela 7. De maneira resumida, para as observações da amostra mestre para os 22 casos de estudo dentro de cada ensaio, as estimativas do grau de multicolinearidade, foram:  $12,36 \leq NC \leq 1.401,96$ ;  $0,000019 \leq DET \leq 0,165307$ ; e  $3,25 \leq FIV \leq 196,27$ . As situações com os 22 casos com multicolinearidade classificada de fraca a severa oferece credibilidade para estudo. Em estudos com outras culturas também foi observado que há situações de fraca e severidade no grau de multicolinearidade entre caracteres.

A exemplo de estudos com situações de baixo grau de multicolinearidade, foi observado  $NC$  inferior a 100 em estudo com caracteres fenológicos de genótipos de transgênicos de milho (ALVES et al., 2016), em caracteres de feijão de porco ( $NC = 17,16$ ) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018a) e em girassol com  $NC = 9,64$  (FOLLMANN et al., 2019). Já a severidade no grau de multicolinearidade foi verificada em matriz de correlação entre caracteres agronômicos e produtivos de frutos de pimentas com  $NC = 1.156,95$  (MOREIRA et al., 2013), em características de 24 famílias de couve com  $2.674,78 < NC < 3.088,20$  (AZEVEDO et al., 2016), entre caracteres de crotalária ( $NC = 1.113,08$ ) (TOEBE et al., 2017b), em caracteres de híbridos de milho com  $NC > 1.000$  (OLIVOTO et al., 2017a; TOEBE et al., 2017c),  $NC > 850$  (ALVES; CARGNELUTTI FILHO; BURIN, 2017) e em caracteres de crotalária com  $NC = 1.113,08$  (TOEBE et al., 2017b).

Tabela 5 – Matriz de correlação linear de Pearson em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) e oito caracteres morfológicos, avaliados em duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Caracteres	NCP	NNC	NNP	CCP	CPP	CEP	APP	ACP
----- Ensaio E1 (acima da diagonal); Ensaio 2 (abaixo da diagonal) -----								
NCP		-0,263*	0,966*	-0,282*	0,088 <sup>ns</sup>	0,216*	-0,165 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>
NNC	-0,058 <sup>ns</sup>		-0,024 <sup>ns</sup>	0,431*	-0,181 <sup>ns</sup>	-0,053 <sup>ns</sup>	0,280*	0,196 <sup>ns</sup>
NNP	0,982*	0,117 <sup>ns</sup>		-0,183 <sup>ns</sup>	0,041 <sup>ns</sup>	0,225*	-0,100 <sup>ns</sup>	0,057 <sup>ns</sup>
CCP	0,073 <sup>ns</sup>	0,496*	0,159 <sup>ns</sup>		-0,070 <sup>ns</sup>	0,119 <sup>ns</sup>	0,846*	0,801*
CPP	-0,082 <sup>ns</sup>	-0,394*	-0,148 <sup>ns</sup>	-0,086 <sup>ns</sup>		0,373*	0,449*	0,401*
CEP	0,230*	0,275*	0,286*	0,206*	-0,034 <sup>ns</sup>		0,440*	0,415*
APP	0,058 <sup>ns</sup>	0,258*	0,106 <sup>ns</sup>	0,834*	0,450*	0,330*		0,936*
ACP	0,331*	0,224*	0,370*	0,756*	0,294*	0,345*	0,854*	
----- Ensaio E3 (acima da diagonal); Ensaio 4 (abaixo da diagonal) -----								
NCP		-0,285*	0,980*	-0,042 <sup>ns</sup>	0,074 <sup>ns</sup>	0,010 <sup>ns</sup>	-0,004 <sup>ns</sup>	0,252*
NNC	-0,034 <sup>ns</sup>		-0,105 <sup>ns</sup>	0,572*	-0,053 <sup>ns</sup>	0,019 <sup>ns</sup>	0,462*	0,279*
NNP	0,981*	0,148 <sup>ns</sup>		0,081 <sup>ns</sup>	0,066 <sup>ns</sup>	0,019 <sup>ns</sup>	0,097 <sup>ns</sup>	0,326*
CCP	-0,016 <sup>ns</sup>	0,435*	0,066 <sup>ns</sup>		0,060 <sup>ns</sup>	0,175 <sup>ns</sup>	0,887*	0,735*
CPP	-0,031 <sup>ns</sup>	-0,058 <sup>ns</sup>	-0,046 <sup>ns</sup>	0,332*		0,418*	0,500*	0,470*
CEP	0,124 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,122 <sup>ns</sup>	0,235*	0,400*		0,441*	0,328*
APP	-0,009 <sup>ns</sup>	0,251*	0,036 <sup>ns</sup>	0,843*	0,773*	0,492*		0,846*
ACP	0,210*	0,242*	0,253*	0,814*	0,723*	0,443*	0,950*	
----- Ensaio E5 (acima da diagonal); Ensaio 6 (abaixo da diagonal) -----								
NCP		-0,053 <sup>ns</sup>	0,975*	0,034 <sup>ns</sup>	0,061 <sup>ns</sup>	0,205*	0,078 <sup>ns</sup>	0,255*
NNC	-0,090 <sup>ns</sup>		0,148 <sup>ns</sup>	0,620*	-0,028 <sup>ns</sup>	0,159 <sup>ns</sup>	0,464*	0,467*
NNP	0,952*	0,198*		0,152 <sup>ns</sup>	0,042 <sup>ns</sup>	0,218*	0,158 <sup>ns</sup>	0,341*
CCP	-0,253*	0,605*	-0,078 <sup>ns</sup>		0,205*	0,402*	0,873*	0,831*
CPP	-0,175 <sup>ns</sup>	-0,044 <sup>ns</sup>	-0,179 <sup>ns</sup>	0,135 <sup>ns</sup>		0,550*	0,645*	0,540*
CEP	-0,252*	0,224*	-0,184 <sup>ns</sup>	0,286*	0,531*		0,659*	0,624*
APP	-0,305*	0,490*	-0,160 <sup>ns</sup>	0,876*	0,577*	0,591*		0,920*
ACP	-0,080 <sup>ns</sup>	0,524*	0,073 <sup>ns</sup>	0,828*	0,484*	0,517*	0,914*	
----- Ensaio E7 (acima da diagonal); Ensaio 8 (abaixo da diagonal) -----								
NCP		-0,091 <sup>ns</sup>	0,986*	-0,094 <sup>ns</sup>	0,036 <sup>ns</sup>	0,099 <sup>ns</sup>	-0,046 <sup>ns</sup>	0,101 <sup>ns</sup>
NNC	-0,111 <sup>ns</sup>		0,046 <sup>ns</sup>	0,428*	-0,274*	-0,043 <sup>ns</sup>	0,228*	0,156 <sup>ns</sup>
NNP	0,986*	0,038 <sup>ns</sup>		-0,036 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,085 <sup>ns</sup>	-0,013 <sup>ns</sup>	0,128 <sup>ns</sup>
CCP	-0,115 <sup>ns</sup>	0,390*	-0,056 <sup>ns</sup>		0,021 <sup>ns</sup>	-0,016 <sup>ns</sup>	0,839*	0,730*
CPP	-0,238*	-0,050 <sup>ns</sup>	-0,257*	0,195 <sup>ns</sup>		0,503*	0,542*	0,337*
CEP	-0,074 <sup>ns</sup>	-0,176 <sup>ns</sup>	-0,093 <sup>ns</sup>	-0,048 <sup>ns</sup>	0,371*		0,375*	0,277*
APP	-0,231*	0,189 <sup>ns</sup>	-0,209*	0,737*	0,799*	0,321*		0,802*
ACP	0,132 <sup>ns</sup>	0,163 <sup>ns</sup>	0,157 <sup>ns</sup>	0,601*	0,624*	0,203 <sup>ns</sup>	0,792*	

\*Coeficiente de correlação linear de Pearson significativo pelo teste t a 5% de probabilidade de erro, para os dados da amostra mestre. <sup>ns</sup>Não significativo.

Tabela 6 – Grau de multicolinearidade da amostra mestre<sup>1</sup>, determinado pelo número de condição (*NC*), para oito caracteres morfológicos combinados em 28 casos de estudo e em oito ensaios com o centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos em Santa Maria – RS, Safra 2016.

Casos <sup>3</sup>	Ensaio <sup>2</sup>							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1*	2,32 10 <sup>17</sup>	2,33 10 <sup>16</sup>	9,2 10 <sup>16</sup>	8,97 10 <sup>15</sup>	1,69 10 <sup>17</sup>	1,39 10 <sup>16</sup>	4,78 10 <sup>16</sup>	2,18 10 <sup>16</sup>
2*	1,95 10 <sup>17</sup>	1,46 10 <sup>16</sup>	3,37 10 <sup>17</sup>	2,65 10 <sup>16</sup>	9,07 10 <sup>16</sup>	3,82 10 <sup>16</sup>	5,82 10 <sup>16</sup>	1,04 10 <sup>16</sup>
3*	2,22 10 <sup>16</sup>	1,48 10 <sup>17</sup>	1,88 10 <sup>17</sup>	1,72 10 <sup>17</sup>	1,31 10 <sup>16</sup>	3,98 10 <sup>16</sup>	1,7 10 <sup>16</sup>	4,62 10 <sup>16</sup>
4	72,89	35,94	58,66	142,06	71,22	87,66	44,87	27,19
5	117,54	283,06	235,31	207,22	205,74	117,45	239,83	220,83
6	72,44	36,19	59,28	146,47	73,16	85,24	44,88	27,68
7	269,52	233,37	464,09	373,27	627,75	385,15	285,54	504,29
8	262,86	322,54	444,61	367,34	608,00	355,54	272,42	495,42
9	268,62	237,39	468,26	374,76	635,48	378,37	285,16	502,22
10	603,52	1401,96	885,13	1151,17	675,49	538,18	674,67	967,60
11	65,50	26,77	26,80	135,14	59,64	58,82	19,53	24,40
12	110,86	240,56	219,29	207,59	189,63	100,74	221,10	241,84
13	65,50	27,47	27,09	138,17	61,68	58,16	19,78	24,59
14	475,50	1261,91	704,07	984,31	620,50	465,82	538,89	816,61
15	470,18	1132,40	746,54	1065,37	580,57	450,32	549,99	1000,46
16*	1,08 10 <sup>17</sup>	3,08 10 <sup>16</sup>	9,17 10 <sup>15</sup>	5,29 10 <sup>16</sup>	2,92 10 <sup>16</sup>	3,61 10 <sup>16</sup>	6,64 10 <sup>16</sup>	1,35 10 <sup>16</sup>
17*	6,76 10 <sup>16</sup>	8,26 10 <sup>15</sup>	2,05 10 <sup>16</sup>	5,97 10 <sup>16</sup>	1,75 10 <sup>16</sup>	2,69 10 <sup>16</sup>	4,24 10 <sup>16</sup>	2,36 10 <sup>16</sup>
18*	1,45 10 <sup>16</sup>	1,31 10 <sup>16</sup>	9,04 10 <sup>15</sup>	7,71 10 <sup>16</sup>	9,84 10 <sup>15</sup>	2,71 10 <sup>16</sup>	7,15 10 <sup>16</sup>	2,1 10 <sup>16</sup>
19	512,12	1175,80	721,93	884,00	563,75	469,95	541,11	880,32
20	523,15	1072,14	711,18	933,37	553,36	447,60	555,23	1029,16
21	447,58	1039,45	616,56	834,83	511,14	436,01	519,05	957,34
22	51,21	23,27	21,06	95,52	42,57	44,58	12,36	15,09
23	90,70	232,68	194,74	177,08	170,03	86,85	188,40	193,17
24	50,78	24,31	21,42	98,46	44,43	43,79	12,57	15,32
25	477,05	1259,37	678,94	928,01	584,79	440,43	520,74	750,43
26	462,49	1139,81	688,02	968,40	541,37	413,95	504,39	832,33
27	459,08	1136,80	658,16	896,20	532,24	395,69	531,00	845,23
28	472,19	1072,10	618,77	782,87	463,27	387,70	516,30	836,38

<sup>1</sup>Dados coletados à campo. <sup>2</sup>Ensaio descritos na Tabela 1. <sup>3</sup>Casos descritos na Tabela 2. \*Casos não considerados.

Considerando o indicador *DET*, foi avaliado o impacto do tamanho de amostra sobre o grau de multicolinearidade entre caracteres de tomate cereja e foi observado valores entre 0,00002 e 0,02500 (SARI et al., 2018). Já para o indicador *FIV*, em experimentos com 24 famílias de couve, os valores de *FIV* oscilaram entre 2,06 e 295,53 (AZEVEDO et al., 2016).

É interessante observar também a variabilidade nas estimativas do grau de multicolinearidade para os três indicadores dentro do mesmo caso. Entre os indicadores, o *DET* apresentou maior variabilidade nas estimativas do grau de multicolinearidade em oito ensaios, considerando as estimativas de 22 casos de estudo, com CV superior 163,46%. Os demais



indicadores apresentaram valores de CV muito semelhantes, porém, inferiores ao indicador *DET*. O indicador *NC* apresentou CV médio de 71,86 % ( $63,99\% \leq CV \leq 87,74\%$ ) e o indicador *FIV* com valor médio de 73,16% ( $63,51\% \leq CV \leq 89,01\%$ ).

Tabela 7 – Mínimo, máximo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV, em porcentagem) da amostra mestre em 22 casos por ensaio e três indicadores do grau de multicolinearidade, em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) - duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos na safra 2016, em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	CV (%)
----- Número de condição ( <i>NC</i> ) -----						
E1	22	50,78	603,52	290,97	199,15	68,44
E2	22	23,27	1.401,96	609,79	535,03	87,74
E3	22	21,06	885,13	421,36	298,49	70,84
E4	22	95,52	1.151,17	540,53	390,11	72,17
E5	22	42,57	675,49	382,54	246,27	64,38
E6	22	43,79	538,18	284,00	181,74	63,99
E7	22	12,36	674,67	322,63	227,49	70,51
E8	22	15,09	1.029,16	509,45	391,24	76,80
Média	-	38,0547	869,9095	420,1565	308,6883	71,86
----- Determinante ( <i>DET</i> ) -----						
E1	22	0,000107	0,052185	0,010212	0,016692	163,46
E2	22	0,000066	0,095446	0,018168	0,031870	175,42
E3	22	0,000055	0,107532	0,018739	0,034722	185,29
E4	22	0,000019	0,025850	0,004304	0,007540	175,16
E5	22	0,000037	0,037124	0,006399	0,011249	175,78
E6	22	0,000115	0,040365	0,007405	0,012373	167,08
E7	22	0,000116	0,165307	0,030133	0,054731	181,63
E8	22	0,000043	0,162844	0,027501	0,049901	181,45
Média	-	0,000700	0,085832	0,015358	0,027385	175,66
----- Fator de inflação da variância ( <i>FIV</i> ) -----						
E1	22	11,28	105,32	60,43	42,31	70,01
E2	22	5,37	235,42	120,30	107,08	89,01
E3	22	4,71	151,84	86,78	63,84	73,56
E4	22	21,23	196,27	108,36	80,49	74,28
E5	22	8,79	107,63	67,80	43,27	63,83
E6	22	8,72	81,90	51,79	32,89	63,51
E7	22	3,25	126,35	71,81	52,68	73,37
E8	22	3,80	194,94	106,20	82,51	77,70
Média	-	8,3934	149,9566	84,1830	63,1346	73,16

<sup>1</sup>Ensaio descrito na Tabela 1. <sup>2</sup>Casos descritos na Tabela 2.

O resumo do tamanho de amostra ( $n$ ), a estimativa do grau de multicolinearidade referente ao tamanho de amostra ( $Yn$ ) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), obtidos após o ajuste de modelos pelo método de máxima curvatura modificado (*MMCM*), modelo

linear segmentado com resposta platô (*MLRP*) e modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*) em 22 casos de estudo e em oito ensaios (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) com a cultura do centeio estão apresentados na Tabelas 8, 9 e 10. De maneira geral, os três modelos utilizados para a estimação de  $n$  obtiveram bons ajustes, em cada indicador do grau de multicolinearidade, ensaio e caso de estudo, com estimativas de  $R^2$  médio superiores a 0,57. No entanto, o *MMCM* apresentou os piores ajustes com  $0,00 \leq R^2 \leq 0,80$ ,  $0,15 \leq R^2 \leq 0,76$  e  $0,25 \leq R^2 \leq 0,77$ , respectivamente, para os indicadores *NC*, *DET* e *FIV*.

Os dois modelos, *MLRP* e *MQRP*, apresentaram estimativas de  $R^2$  muito semelhantes entre si, com superioridade de ajuste para o *MQRP*. Para este modelo, a amplitude de  $R^2$  para indicadores *NC*, *DET* e *FIV* foram  $0,86 \leq R^2 \leq 0,93$ ,  $0,21 \leq R^2 \leq 0,93$  e  $0,87 \leq R^2 \leq 0,98$ , respectivamente. Modelos com valores de  $R^2$  superiores a 0,80 são considerados como sendo de bom ajuste. Outro fator que oferece credibilidade ao ajuste dos modelos utilizados neste estudo, está relacionado com as estimativas do grau de multicolinearidade obtidas no ajuste dos modelos para a determinação de  $n$  para os indicadores (*NCn*, *DETn* e *FIVn*). As estimativas de *NCn*, *DETn* e *FIVn* presentes nas Tabelas 8, 9 e 10, respectivamente, são bem próximo as estimativas médias do grau de multicolinearidade para a amostra mestre (Tabela 6).

Devido a superioridade de ajuste das 197 médias do grau de multicolinearidade pelo *MQRP*, optou-se por este modelo para a determinação de  $n$  para os indicadores *NC*, *DET* e *FIV*. A determinação de  $n$  obtida com o ajuste por *MQRP*, resultantes de 197 estimativas de médias em total 176 casos de estudo (oito ensaios  $\times$  22 casos de estudo ensaio<sup>-1</sup>), apresentou variabilidade de  $n$  para o diagnóstico do grau de multicolinearidade entre caracteres morfológicos de centeio. O  $n$  médio foi de 116 ( $50 \leq n \leq 287$ ), 180 ( $36 \leq n \leq 859$ ) e 85 ( $28 \leq n \leq 136$ ) para os indicadores *NC*, *DET* e *FIV*, respectivamente.

Foi apresentado, os gráficos para *MQRP* considerando os ensaios e casos de estudo que apresentaram a menor e a maior estimativa do grau de multicolinearidade, para cada indicador. Na Figura 3 estão plotados os casos para o indicador *NC*, na Figura 4 para *DET* e na Figura 5 para *FIV*.

Tabela 8 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para  $n$  para o indicador número de condição ( $NCn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador número de condição. Dados de caracteres morfológicos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Casos <sup>2</sup>	Tamanho de amostra ( $n$ )			$NCn$			$R^2$		
		Mín	Máx	M	Mín	Máx	M	Mín	Máx	M
----- Método da Máxima Curvatura Modificado ( <i>MMCM</i> ) -----										
E1	22	51	11.396	3.908	64	458	247	0,59	0,80	0,66
E2	22	62	35.635	12.252	32	1.122	477	0,61	0,79	0,68
E3	22	10	29.111	7.937	31	709	335	0,57	0,78	0,62
E4	22	334	150.924	15.348	101	40.583	2.240	0,00	0,71	0,58
E5	22	520	20.017	7.760	26	6.659	594	0,00	0,70	0,56
E6	22	38	3.569	1.187	56	507	273	0,57	0,74	0,64
E7	22	21	153.483	61.905	20	286	159	0,59	0,71	0,66
E8	22	12	41.407	13.201	24	780	373	0,56	0,65	0,61
Geral	-	10	153.483	15.437	20	40.583	587	0,00	0,80	0,63
----- Modelo Linear Segmentado com Resposta Platô ( <i>MLRP</i> ) -----										
E1	22	54	211	105	52	624	301	0,37	0,89	0,85
E2	22	71	186	104	24	1.444	635	0,86	0,89	0,87
E3	22	61	101	79	22	910	436	0,84	0,88	0,86
E4	22	56	131	89	99	1.185	556	0,84	0,88	0,86
E5	22	26	130	82	46	700	396	0,80	0,96	0,87
E6	22	66	170	96	45	551	292	0,85	0,90	0,87
E7	22	66	116	86	13	711	341	0,85	0,88	0,87
E8	22	66	96	73	16	1.032	519	0,85	0,88	0,86
Geral	-	26	211	89	13	1.444	434	0,37	0,96	0,87
----- Modelo Quadrático Segmentado com Resposta Platô ( <i>MQRP</i> ) -----										
E1	22	89	287	141	52	624	300	0,88	0,93	0,91
E2	22	89	236	140	24	1.446	634	0,90	0,93	0,91
E3	22	77	130	100	22	909	436	0,88	0,91	0,90
E4	22	67	170	112	99	1.184	556	0,88	0,92	0,90
E5	22	50	170	102	46	699	396	0,86	0,92	0,90
E6	22	83	198	124	45	550	292	0,89	0,92	0,91
E7	22	94	124	111	13	714	340	0,89	0,92	0,91
E8	22	83	128	97	16	1.028	519	0,89	0,91	0,90
Geral	-	50	287	116	13	1.446	434	0,86	0,93	0,90

<sup>1</sup>Ensaio descritos na Tabela 1. <sup>2</sup>Casos descritos na Tabela 2.

Tabela 9 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para  $n$  para o indicador determinante da matriz de correlação ( $DETn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador determinante da matriz de correlação. Dados de caracteres morfológicos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Casos <sup>2</sup>	Tamanho de amostra ( $n$ )			$DETn$			$R^2$		
		Mín	Máx	M	Mín	Máx	M	Mín	Máx	M
----- Método da Máxima Curvatura Modificado ( <i>MMCM</i> ) -----										
E1	22	0	0	0	0,00002	0,01422	0,00268	0,65	0,73	0,70
E2	22	0	0	0	0,00002	0,02608	0,00479	0,64	0,72	0,70
E3	22	0	0	0	0,00001	0,02818	0,00479	0,68	0,73	0,71
E4	22	0	0	0	0,00001	0,00706	0,00121	0,46	0,72	0,66
E5	22	0	0	0	0,00001	0,01453	0,00281	0,15	0,74	0,58
E6	22	0	0	0	0,00002	0,01097	0,00200	0,64	0,73	0,69
E7	22	0	0	0	0,00002	0,04303	0,00728	0,70	0,76	0,74
E8	22	0	0	0	0,00001	0,04516	0,00767	0,67	0,72	0,70
Geral	-	0	0	0	0,00001	0,04516	0,00415	0,15	0,76	0,68
----- Modelo Linear Segmentado com Resposta Platô ( <i>MLRP</i> ) -----										
E1	22	102	145	128	0,00011	0,05089	0,01001	0,86	0,89	0,88
E2	22	96	136	123	0,00011	0,09292	0,01771	0,85	0,89	0,88
E3	22	106	140	127	0,00007	0,10455	0,01825	0,87	0,89	0,88
E4	22	61	136	114	0,00002	0,02524	0,00424	0,78	0,89	0,86
E5	22	72	655	200	0,00004	0,03661	0,00633	0,05	0,89	0,74
E6	22	96	141	121	0,00011	0,03941	0,00726	0,84	0,89	0,87
E7	22	125	161	145	0,00014	0,16033	0,02926	0,87	0,89	0,89
E8	22	115	135	124	0,00006	0,15824	0,02683	0,87	0,89	0,88
Geral	-	61	655	135	0,00002	0,16033	0,01499	0,05	0,89	0,86
----- Modelo Quadrático Segmentado com Resposta Platô ( <i>MQRP</i> ) -----										
E1	22	140	197	174	0,00011	0,05095	0,01001	0,90	0,92	0,91
E2	22	130	186	168	0,00011	0,09299	0,01773	0,89	0,93	0,91
E3	22	150	192	173	0,00007	0,10462	0,01827	0,90	0,92	0,91
E4	22	79	184	152	0,00002	0,02526	0,00425	0,83	0,92	0,90
E5	22	36	859	236	0,00004	0,03662	0,00633	0,21	0,92	0,80
E6	22	130	193	166	0,00011	0,03944	0,00726	0,88	0,92	0,91
E7	22	174	224	199	0,00014	0,16053	0,02929	0,91	0,93	0,92
E8	22	153	183	169	0,00006	0,15842	0,02686	0,90	0,92	0,91
Geral	-	36	859	180	0,00002	0,16053	0,01500	0,21	0,93	0,90

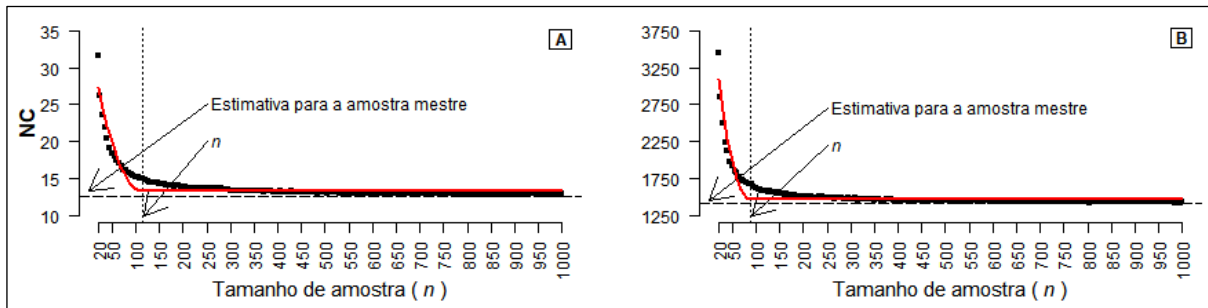
<sup>1</sup>Ensaio descritos na Tabela 1. <sup>2</sup>Casos descritos na Tabela 2.

Tabela 10 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para  $n$  para o indicador fator de inflação da variância ( $FIVn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador fator de inflação da variância. Dados de caracteres morfológicos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Casos <sup>2</sup>	Tamanho de amostra ( $n$ )			$FIVn$			$R^2$		
		Mín	Máx	M	Mín	Máx	M	Mín	Máx	M
----- Método da Máxima Curvatura Modificado ( <i>MMCM</i> ) -----										
E1	22	1	4.229	1.620	18	77	52	0,47	0,62	0,55
E2	22	1	3.708	1.445	11	199	107	0,59	0,70	0,62
E3	22	0	508	205	9	159	94	0,51	0,62	0,57
E4	22	11	4.285	1.401	31	198	99	0,44	0,61	0,52
E5	22	9	86.724	5.717	6	120	63	0,25	0,62	0,50
E6	22	1	199	85	14	93	62	0,55	0,69	0,58
E7	22	0	9.394	3.652	7	122	55	0,58	0,77	0,64
E8	22	0	801	352	7	193	110	0,54	0,61	0,59
Geral	-	0	86.724	1.810	6	199	80	0,25	0,77	0,57
----- Modelo Linear Segmentado com Resposta Platô ( <i>MLRP</i> ) -----										
E1	22	47	81	65	12	110	63	0,84	0,91	0,88
E2	22	71	95	75	6	245	125	0,85	0,89	0,87
E3	22	56	76	67	5	156	89	0,84	0,88	0,86
E4	22	46	67	58	22	203	112	0,84	0,91	0,87
E5	22	26	76	61	9	110	70	0,83	0,96	0,87
E6	22	61	86	70	9	84	53	0,84	0,87	0,86
E7	22	66	105	77	3	134	76	0,85	0,88	0,87
E8	22	65	76	71	4	201	109	0,85	0,87	0,86
Geral	-	26	105	68	3	245	87	0,83	0,96	0,87
----- Modelo Quadrático Segmentado com Resposta Platô ( <i>MQRP</i> ) -----										
E1	22	58	105	81	12	110	63	0,88	0,94	0,92
E2	22	89	121	97	6	244	125	0,89	0,92	0,91
E3	22	68	99	84	5	156	89	0,88	0,91	0,90
E4	22	56	86	70	22	203	112	0,88	0,94	0,91
E5	22	28	95	68	9	110	70	0,87	0,98	0,91
E6	22	78	112	87	9	84	53	0,88	0,91	0,90
E7	22	82	136	99	3	134	76	0,88	0,91	0,90
E8	22	80	100	91	4	201	109	0,89	0,90	0,90
Geral	-	28	136	85	3	244	87	0,87	0,98	0,90

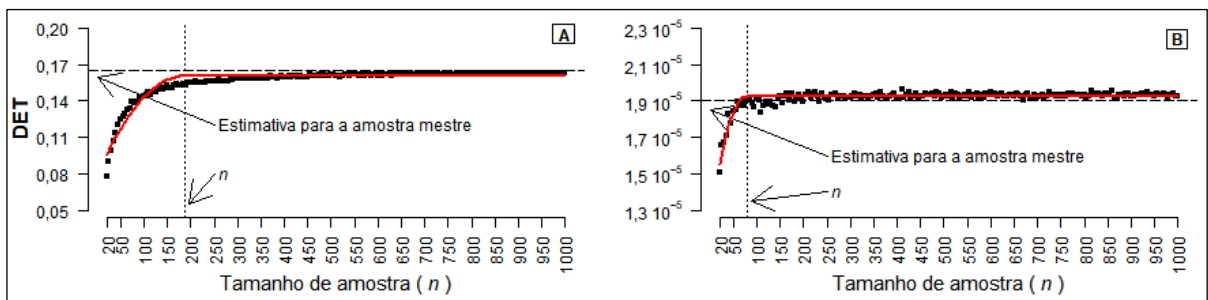
<sup>1</sup>Ensaio descritos na Tabela 1. <sup>2</sup>Casos descritos na Tabela 2.

Figura 3 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*) para o grau de multicolinearidade pelo indicador número de condição (*NC*) em caracteres morfológicos de centeio (*Secale cereale* L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.



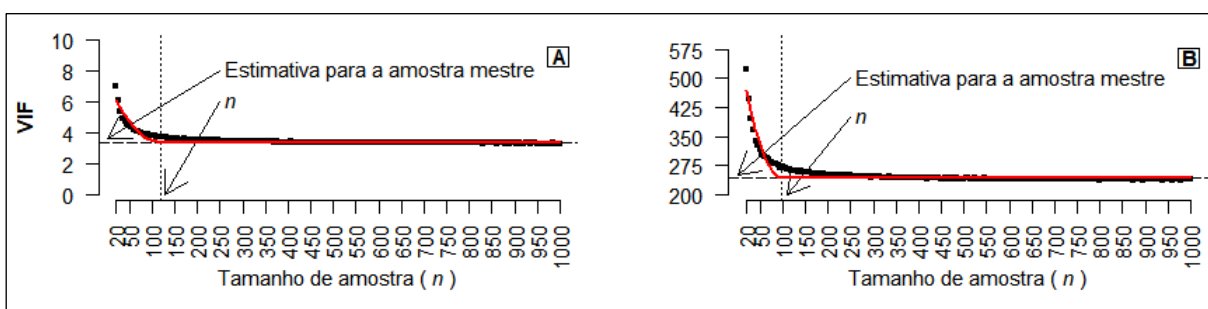
Caso e ensaio com a menor [A] e maior [B] estimativa de *NC* para a amostra mestre (Tabelas 6 e 7).

Figura 4 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*) para o grau de multicolinearidade pelo indicador determinante da matriz de correlação (*DET*) em caracteres morfológicos de centeio (*Secale cereale* L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.



Caso e ensaio com a menor [A] e maior [B] estimativa de *DET* para a amostra mestre (Tabela 7).

Figura 5 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*) para o grau de multicolinearidade pelo indicador fator de inflação da variância (*FIV*) em caracteres morfológicos de centeio (*Secale cereale* L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.



Caso e ensaio com a menor [A] e maior [B] estimativa de *FIV* para a amostra mestre (Tabela 7).

A fim de verificar a variabilidade do tamanho de amostra entre os indicadores, foi comparado os valores médios de  $n$  pelo teste  $t$  de Student para amostras dependentes. Foi verificado haver diferenças significativas do tamanho de amostra com probabilidade de 5% de erro entre os indicadores  $NC$ ,  $DET$  e  $FIV$ . Para o teste  $t$  de Student foi considerado os valores de 176 tamanhos de amostra ajustados ( $22 \text{ casos} \times 8 \text{ ensaios}$ ) para cada indicador.

Diferenças ao nível de 5% de probabilidade de erro foram verificadas entre os pares de indicadores  $NC \times DET$  ( $t=9,025$ ,  $\text{valor-}p=0,000$ ),  $NC \times FIV$  ( $t=9,166$ ,  $\text{valor-}p=0,000$ ) e  $DET \times FIV$  ( $t=13,932$ ,  $\text{valor-}p=0,000$ ). Estes resultados sugerem que para o diagnóstico do grau de multicolinearidade em matrizes de correlação para caracteres morfológicos de centeio, são necessários  $n$  quando for utilizado o indicador  $DET$ , seguido de  $NC$  e  $FIV$ .

#### 4.3 CARACTERES PRODUTIVOS

Os valores de mínimo, máximo, média e desvio-padrão em sete caracteres produtivos estão apresentados na Tabela 11 e estes indicam haver variabilidade maiores para os caracteres massa fresca de parte aérea da planta (MFP), massa seca de parte aérea da planta (MSP), número de espiguetas espiga<sup>-1</sup> (NSE) e peso de grãos planta<sup>-1</sup> (PGP).

Os valores médios ( $m$ ) para as observações de todos os oito ensaios foi de 6,7613 ( $3,42 \leq m \leq 13,24$ ); 5,8360 ( $3,01 \leq m \leq 11,08$ ); 90,2033 ( $49,49 \leq m \leq 161,45$ ) e 2,2049 ( $1,0212 \leq m \leq 4,7527$ ) para MFP, MSP, NSE e MGP, respectivamente. Para os mesmos caracteres, os coeficientes de variação (CV) oscilaram entre 40,20% e 96,48%. Enquanto que para os caracteres número de grãos espiga<sup>-1</sup> (NGE), número de grãos espiguetas<sup>-1</sup> (NGS) e peso médio de 100 grãos (M100), o CV oscilou entre 14,21% e 54,85% (Tabela 12).

Variabilidade e influência entre as épocas de semeadura na média de caracteres em estágio de florescimento foi verificado em centeio (BANDEIRA et al., 2018a). A presença de variabilidade em estudo de dimensionamento amostral é importante pois dá credibilidade ao estudo, pois o estudo contempla todas as condições de possíveis de acontecerem em ensaio de campo. Estudos com ampla variabilidade também foram observados em caracteres na cultura do centeio em avaliações estágio de pleno florescimento ( $18,09\% \leq CV \leq 131,72\%$ ) (BANDEIRA et al., 2018a) e em caracteres morfológicos de linho ( $14,50\% \leq CV \leq 48,30\%$ ) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b).

A matriz de correlação linear de Pearson entre os sete caracteres e em oito ensaios, está apresentada na Tabela 13. Comparando a matriz de correlação entre os ensaios, pode-se observar que determinados pares de correlações são estatisticamente significativos em alguns

ensaios, enquanto que em outros não. Dentre os 21 pares de correlações possíveis entre os sete caracteres produtivos, foi observado efeito significativo pelo teste *t* de Student a 5% de probabilidade de erro em 15, 13, 12, 15, 17, 13, 15 e 15 pares nos ensaios E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8, respectivamente.

O grau de multicolinearidade foi estimado na amostra mestre utilizando os indicadores número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*), em cada ensaio e caso de estudo. Somente para o indicador *NC* foram apresentadas as estimativas do grau de multicolinearidade para todos os casos e ensaios (Tabela 14). Para os indicadores *DE* e *FIV*, foi apresentado somente estimativas mínimas, médias e máximas (Tabela 15). Foi observado haver variabilidade nas estimativas do grau de multicolinearidade dentro de cada ensaio nos três indicadores, com tendência de menor variabilidade na estimativa no grau de multicolinearidade em épocas precoces de semeadura (E1 e E6, por exemplo), com exceção para o indicador *DET*.

As maiores médias e variabilidade na estimativa do grau de multicolinearidade para a amostra mestre foram observados nos ensaios E4, E5, E7 e E8 nos indicadores *NC* e *FIV*. O coeficiente de variação (*CV*) para o indicador *NC* oscilou entre 47,59% e 105,80%, para *DET* entre 104,30% e 151,27% e para *FIV* entre 43,98% e 104,77%. Não foi encontrado estudo semelhante para a comparação de *CV*. Mas a ampla variabilidade foi observado em estudo para a determinação do tamanho de amostra em estágio de pleno florescimento na cultura de centeio com  $18,09\% \leq CV \leq 107,47\%$  para a cultivar BRS Progresso e  $21,63\% \leq CV \leq 131,72\%$  para a cultivar Temprano (BANDEIRA et al., 2018a) e em caracteres morfológicos de linho com  $14,50\% \leq CV \leq 48,30\%$  (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b).

Considerando o grau e multicolinearidade entre os casos de estudo e ensaios, foi observado *NC* médio de 959,6126 ( $19,33 \leq NC \leq 6.083,92$ ). Nos 168 casos de estudo, houveram situações de multicolinearidade fraca ( $NC \leq 100$ ), moderada a forte ( $100 < NC \leq 1.000$ ) e severa ( $NC > 1.000$ ) (MONTGOMERY; PECK, 1982). Na cultura do centeio, não foi encontrado trabalhos em foi realizado o diagnóstico do grau de multicolinearidade. Fazendo a observação em outras culturas, há ensaios em que foi diagnosticado fraco e severo grau de multicolinearidade.



Tabela 11 – Mínimo, máximo, média e desvio-padrão de sete caracteres produtivos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), avaliados em duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Caracteres						
	MFP (gramas)	MSP (gramas)	NSE (unidade)	NGE (unidade)	NGS (unidade)	MGP (gramas)	M100 (gramas)
----- Mínimo -----							
E1	0,90	0,71	15	15,5	0,66	0,3542	1,1526
E2	2,06	1,82	23	15,0	0,60	0,3842	1,1089
E3	1,41	1,30	31	21,3	0,75	0,9991	1,3166
E4	0,85	0,78	20	24,0	0,71	0,4339	0,9862
E5	0,35	0,31	11	10,0	0,56	0,0196	0,1959
E6	1,15	1,02	16	6,0	0,14	0,0570	0,7489
E7	1,78	1,61	31	8,5	0,25	0,1219	0,3648
E8	0,97	0,97	27	0,0	0,00	0,0000	0,0000
Média <sup>2</sup>	1,1183	1,0650	21,80	12,50	0,46	0,2962	0,7342
----- Máximo -----							
E1	13,12	8,58	134	68,0	1,96	4,8703	3,6182
E2	41,60	31,98	392	83,0	1,78	16,1254	5,2650
E3	24,23	22,10	237	86,0	1,95	12,5443	4,2763
E4	15,84	14,15	163	89,5	1,95	7,9488	3,2431
E5	15,18	13,64	176	81,0	1,96	4,7790	3,3297
E6	8,89	7,49	125	82,5	1,62	2,7377	2,8373
E7	27,82	25,97	634	71,6	1,55	9,2261	4,4356
E8	19,48	17,20	346	69,0	1,82	4,5390	2,5695
Média	20,7700	17,6388	275,90	78,83	1,8235	7,8463	3,6968
----- Média -----							
E1	4,88	3,24	56,89	34,31	1,1796	1,6600	2,4423
E2	13,24	11,08	137,46	47,79	1,2670	4,7527	2,7216
E3	7,24	6,25	87,32	56,74	1,5448	3,2874	2,3905
E4	4,55	4,08	65,84	55,83	1,5933	2,3276	2,1739
E5	3,42	3,01	49,49	46,38	1,5477	1,4979	1,8700
E6	4,04	3,54	56,95	36,27	1,1239	1,0212	1,5673
E7	10,01	9,33	161,45	37,29	0,8871	2,0128	1,2744
E8	6,70	6,15	106,22	31,93	0,8317	1,0798	1,2571
Média	6,7613	5,8360	90,2033	43,3173	1,2469	2,2049	1,9621
----- Desvio-padrão -----							
E1	2,5796	1,5834	26,5410	9,4634	0,2378	0,9178	0,4060
E2	7,5404	6,1340	70,9315	15,7310	0,2747	3,0753	0,7458
E3	4,5001	3,8307	42,8792	14,3413	0,2667	2,1207	0,4658
E4	2,7820	2,4710	34,4739	13,7287	0,2264	1,4657	0,4639
E5	2,4923	2,1805	30,3526	12,6408	0,2879	1,0309	0,5633
E6	1,6768	1,4306	22,9604	14,9807	0,2823	0,5690	0,4400
E7	6,1964	5,7397	101,8322	15,8110	0,3381	1,9419	0,6990
E8	3,8713	3,5560	65,6572	16,5240	0,4286	0,9467	0,5353
Média	3,9549	3,3657	49,4535	14,1526	0,2928	1,5085	0,5399

<sup>1</sup>Ensaio descrito na Tabela 1. <sup>2</sup>Valores médios obtidos das estimativas de oito ensaios. <sup>3</sup>Valores obtidos com base em todas as observações dos oito ensaios.

Tabela 12 – Coeficiente de variação (CV, em porcentagem), valor-p do teste de Shapiro-Wilk para a normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para sete caracteres produtivos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8), avaliados em duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Caracteres						
	MFP	MSP	NSE	NGE	NGS	MGP	M100
----- Coeficiente de variação (%) -----							
E1	52,84	48,91	46,65	27,58	20,16	55,29	16,62
E2	56,93	55,34	51,60	32,92	21,68	64,71	27,40
E3	62,13	61,28	49,11	25,28	17,27	64,51	19,49
E4	61,17	60,63	52,36	24,59	14,21	62,97	21,34
E5	72,79	72,36	61,33	27,25	18,60	68,82	30,12
E6	41,53	40,41	40,32	41,31	25,11	55,72	28,07
E7	61,89	61,50	63,07	42,40	38,11	96,48	54,85
E8	57,78	57,78	61,81	51,75	51,53	87,67	42,59
Média <sup>2</sup>	58,38	57,28	53,28	34,13	25,83	69,52	30,06
----- Normalidade -----							
E1	0,0018	0,0023	0,0007	0,1050	0,5556	0,0001	0,8063
E2	0,0001	0,0001	0,0002	0,2195	0,3123	0,0000	0,0454
E3	0,0000	0,0000	0,0000	0,2829	0,0001	0,0000	0,0086
E4	0,0000	0,0000	0,0000	0,6828	0,0000	0,0000	0,6322
E5	0,0000	0,0000	0,0000	0,1395	0,0001	0,0000	0,1139
E6	0,0197	0,0375	0,0093	0,1499	0,0063	0,0020	0,1112
E7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0087	0,0229	0,0000	0,0000
E8	0,0000	0,0000	0,0000	0,1017	0,2037	0,0000	0,1991
Geral <sup>3</sup>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0038	0,0000	0,0000	0,0000
----- Assimetria -----							
E1	0,771*	0,779*	0,681*	0,478*	0,251 <sup>ns</sup>	0,983*	-0,097 <sup>ns</sup>
E2	1,027*	0,931*	0,941*	0,163 <sup>ns</sup>	-0,178 <sup>ns</sup>	1,237*	0,594*
E3	1,508*	1,593*	1,000*	-0,258 <sup>ns</sup>	-0,953*	1,708*	0,701*
E4	1,412*	1,400*	0,820*	0,076 <sup>ns</sup>	-1,602*	1,308*	0,085 <sup>ns</sup>
E5	2,051*	2,092*	1,575*	-0,353 <sup>ns</sup>	-0,957*	1,096*	-0,434 <sup>ns</sup>
E6	0,579*	0,501*	0,563*	0,401 <sup>ns</sup>	-0,727*	0,666*	0,215 <sup>ns</sup>
E7	1,168*	1,173*	1,738*	0,190 <sup>ns</sup>	0,018 <sup>ns</sup>	1,674*	2,407*
E8	1,348*	1,322*	1,508*	0,270 <sup>ns</sup>	0,191 <sup>ns</sup>	1,506*	0,299 <sup>ns</sup>
Geral	2,040*	1,964*	2,363*	0,110 <sup>ns</sup>	-0,509	2,327*	0,296*
----- Curtose -----							
E1	0,660 <sup>ns</sup>	0,760 <sup>ns</sup>	0,077 <sup>ns</sup>	0,494 <sup>ns</sup>	0,399 <sup>ns</sup>	1,212*	0,542 <sup>ns</sup>
E2	1,332*	0,968*	1,065*	-0,713 <sup>ns</sup>	-0,559 <sup>ns</sup>	1,607*	0,887 <sup>ns</sup>
E3	2,410*	3,054*	0,872 <sup>ns</sup>	-0,273 <sup>ns</sup>	0,615 <sup>ns</sup>	3,424*	1,476*
E4	2,886*	2,816*	0,022 <sup>ns</sup>	-0,093 <sup>ns</sup>	3,685*	2,102*	-0,446 <sup>ns</sup>
E5	5,617*	6,123*	3,062*	0,592 <sup>ns</sup>	0,824 <sup>ns</sup>	1,181*	0,451 <sup>ns</sup>
E6	0,190 <sup>ns</sup>	0,054 <sup>ns</sup>	-0,018 <sup>ns</sup>	-0,019 <sup>ns</sup>	0,918 <sup>ns</sup>	-0,063 <sup>ns</sup>	-0,567 <sup>ns</sup>
E7	0,855 <sup>ns</sup>	0,883 <sup>ns</sup>	4,264*	-1,032*	-1,028*	2,735*	7,493*
E8	1,822*	1,647*	2,586*	-0,705 <sup>ns</sup>	-0,688 <sup>ns</sup>	2,063*	-0,514 <sup>ns</sup>
Geral	5,451*	4,652*	9,121*	-0,484*	-0,283 <sup>ns</sup>	7,495*	0,399*

<sup>1</sup>Ensaio descrito na Tabela 1. <sup>2</sup>Valores médios obtidos das estimativas de oito ensaios. <sup>3</sup>Valores obtidos com base nas observações dos oito ensaios. \*Significativo a 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup>Não significativo.

Tabela 13 – Matriz de correlação linear de Pearson e significância em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) e sete caracteres produtivos, avaliados em duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Caracteres	MFP	MSP	NSE	NGE	NGS	MGP	M100
----- Ensaio E1 (acima da diagonal); Ensaio 2 (abaixo da diagonal) -----							
MFP		0,9653*	0,8713*	0,2998*	-0,0733 <sup>ns</sup>	0,8500*	0,4110*
MSP	0,9902*		0,9119*	0,3234*	-0,0434 <sup>ns</sup>	0,9064*	0,4569*
NSE	0,9079*	0,9212*		0,2992*	-0,1092 <sup>ns</sup>	0,9042*	0,3270*
NGE	0,2976*	0,2765*	0,3483*		0,6811*	0,5248*	0,1744 <sup>ns</sup>
NGS	0,1713 <sup>ns</sup>	0,1509 <sup>ns</sup>	0,2281*	0,9088*		0,2106*	-0,1021 <sup>ns</sup>
MGP	0,8276*	0,8373*	0,8937*	0,5527*	0,4544*		0,4914*
M100	-0,0494 <sup>ns</sup>	-0,0361 <sup>ns</sup>	-0,1169 <sup>ns</sup>	-0,1254 <sup>ns</sup>	-0,1521 <sup>ns</sup>	0,1628 <sup>ns</sup>	
----- Ensaio E3 (acima da diagonal); Ensaio 4 (abaixo da diagonal) -----							
MFP		0,9752*	0,9031*	0,1337 <sup>ns</sup>	-0,0198 <sup>ns</sup>	0,8503*	0,2153*
MSP	0,9989*		0,9219*	0,1653 <sup>ns</sup>	0,0119 <sup>ns</sup>	0,8924*	0,2551*
NSE	0,9021*	0,9092*		0,1374 <sup>ns</sup>	0,0152 <sup>ns</sup>	0,9042*	0,1102 <sup>ns</sup>
NGE	0,3832*	0,3776*	0,3068*		0,8643*	0,3891*	0,1689 <sup>ns</sup>
NGS	0,1571 <sup>ns</sup>	0,1540 <sup>ns</sup>	0,1094 <sup>ns</sup>	0,7245*		0,2808*	0,0324 <sup>ns</sup>
MGP	0,9036*	0,9097*	0,8928*	0,4196*	0,2393*		0,3830*
M100	0,2810*	0,2806*	0,1230 <sup>ns</sup>	0,1202 <sup>ns</sup>	-0,1028 <sup>ns</sup>	0,4488*	
----- Ensaio E5 (acima da diagonal); Ensaio 6 (abaixo da diagonal) -----							
MFP		0,9988*	0,9191*	0,3904*	0,0996 <sup>ns</sup>	0,8768*	0,2740*
MSP	0,9919*		0,9208*	0,3951*	0,1011 <sup>ns</sup>	0,8793*	0,2795*
NSE	0,8776*	0,8957*		0,3122*	-0,0360 <sup>ns</sup>	0,8889*	0,1955 <sup>ns</sup>
NGE	0,3677*	0,3683*	0,3579*		0,6072*	0,4918*	0,4327*
NGS	0,1537 <sup>ns</sup>	0,1758 <sup>ns</sup>	0,1685 <sup>ns</sup>	0,8310*		0,2488*	0,3405*
MGP	0,7818*	0,7882*	0,7500*	0,5938*	0,4976*		0,5074*
M100	0,1379 <sup>ns</sup>	0,1278 <sup>ns</sup>	-0,0232 <sup>ns</sup>	0,0773 <sup>ns</sup>	0,0537 <sup>ns</sup>	0,4783*	
----- Ensaio E7 (acima da diagonal); Ensaio 8 (abaixo da diagonal) -----							
MFP		0,9994*	0,9278*	0,2756*	0,1902 <sup>ns</sup>	0,6419*	0,0951 <sup>ns</sup>
MSP	0,9989*		0,9280*	0,2812*	0,1969*	0,6426*	0,0928 <sup>ns</sup>
NSE	0,9177*	0,9203*		0,1773 <sup>ns</sup>	0,0915 <sup>ns</sup>	0,5921*	-0,0057 <sup>ns</sup>
NGE	-0,0802 <sup>ns</sup>	-0,0794 <sup>ns</sup>	-0,3032*		0,9466*	0,6201*	0,4045*
NGS	-0,1191 <sup>ns</sup>	-0,1166 <sup>ns</sup>	-0,3377*	0,9750*		0,5876*	0,3969*
MGP	0,5530*	0,5470*	0,3316*	0,5922*	0,5855*		0,6700*
M100	-0,0110 <sup>ns</sup>	-0,0142 <sup>ns</sup>	-0,2408*	0,6663*	0,6627*	0,5874*	

<sup>l</sup>Ensaio descrito na Tabela 1. \*Coeficiente de correlação linear de Pearson significativo pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup>Não significativo.

Tabela 14 – Grau de multicolinearidade da amostra mestre<sup>1</sup>, determinado pelo número de condição (*NC*), para sete caracteres produtivos combinados em 21 casos de estudo e em oito ensaios com o centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos em Santa Maria – RS, Safra 2016.

Casos <sup>3</sup>	Ensaio <sup>2</sup>							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1	106,56	366,00	127,41	3180,34	2599,91	492,94	5350,98	3018,48
2	74,31	256,72	93,61	2222,35	2177,07	344,12	4553,39	2495,36
3	132,75	371,68	149,93	3227,32	2652,11	448,18	5480,81	2745,31
4	121,74	356,56	139,79	3201,84	2706,93	416,98	5195,64	2827,28
5	165,12	456,32	190,02	4177,37	3295,74	519,72	6081,61	3234,45
6	140,72	345,45	151,10	3399,14	2759,79	401,14	5130,55	2550,61
7	122,64	343,02	138,27	3010,76	2511,01	407,59	5171,54	2898,87
8	159,75	440,20	190,44	3966,02	3105,70	516,37	6083,92	3396,99
9	131,26	330,49	149,36	3222,28	2551,80	375,02	5066,10	2625,51
10	159,62	424,75	186,82	4002,81	3246,39	491,21	5809,12	3057,69
11	19,33	30,31	23,87	29,33	35,04	22,92	50,03	115,64
12	73,07	49,77	52,09	34,50	56,41	31,15	62,16	106,38
13	26,96	34,56	32,36	38,33	32,81	44,36	64,46	130,94
14	71,48	119,93	114,73	80,15	71,08	53,60	53,98	49,30
15	180,41	135,19	161,22	105,95	91,62	77,91	55,83	48,52
16	33,44	33,72	32,68	31,93	36,16	26,36	50,09	115,32
17	81,74	51,63	53,11	37,93	56,96	32,92	62,15	105,10
18	47,54	38,58	45,21	41,94	33,26	44,38	64,30	129,77
19	73,50	120,79	113,77	80,24	71,87	53,98	54,11	50,71
20	187,81	135,96	163,53	106,33	92,57	76,10	56,16	49,95
21	149,01	126,54	135,70	90,17	76,51	71,60	67,25	130,27

<sup>1</sup>Dados coletados à campo. <sup>2</sup>Ensaio descritos na Tabela 1. <sup>3</sup>Casos descritos na Tabela 2.

Em estudo com caracteres de feijão de porco foi verificado fraca multicolinearidade (*NC* = 17,16) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018a) e severa multicolinearidade em milho, com *NC* > 1.000 (OLIVOTO et al., 2017a; TOEBE et al., 2017c) e *NC* > 850 (ALVES; CARGNELUTTI FILHO; BURIN, 2017). Cabe salientar que a determinação de multicolinearidade realizada por *NC* é realizada em função da matriz de correlações. As correlações entre os caracteres podem ter sido diferentes, ou ainda, o efeito pode ser em função da cultura.

Tabela 15 – Mínimo, máximo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV), em percentagem, da amostra mestre em 21 casos ensaio<sup>1</sup> e três indicadores do grau de multicolinearidade, em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) - duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), conduzidos na safra 2016, em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Casos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	CV (%)
----- Número de condição ( <i>NC</i> ) -----						
E1	21	19,33	187,81	107,56	51,84	48,19
E2	21	30,31	456,32	217,53	156,79	72,08
E3	21	23,87	190,44	116,43	55,41	47,59
E4	21	29,33	4.177,37	1.632,72	1.731,98	106,08
E5	21	32,81	3295,74	1.345,75	1.402,72	104,23
E6	21	22,92	519,72	235,65	205,64	87,27
E7	21	50,03	6.083,92	2.598,29	2.749,03	105,80
E8	21	48,52	3.396,99	1.422,97	1.442,38	101,36
Geral	-	19,33	6.083,92	959,6126	1.585,5718	84,08
----- Determinante ( <i>DET</i> ) -----						
E1	21	0,000638	0,073547	0,014730	0,019681	133,62
E2	21	0,000311	0,023936	0,006385	0,007556	118,34
E3	21	0,000567	0,036434	0,009074	0,010560	116,37
E4	21	0,000022	0,055852	0,012316	0,018236	148,08
E5	21	0,000029	0,059805	0,014531	0,021982	151,27
E6	21	0,000497	0,049550	0,012237	0,014139	115,54
E7	21	0,000014	0,012156	0,005074	0,005292	104,30
E8	21	0,000010	0,012198	0,003472	0,004554	131,15
Geral	-	0,000010	0,073547	0,009727	0,014520	127,33
----- Fator de inflação da variância ( <i>FIV</i> ) -----						
E1	21	4,51	35,44	20,80	9,15	43,98
E2	21	6,59	65,49	37,66	25,31	67,19
E3	21	5,99	31,11	22,38	9,54	42,63
E4	21	6,79	555,26	258,02	264,69	102,59
E5	21	6,77	429,06	207,30	210,53	101,56
E6	21	5,06	83,01	40,25	32,88	81,68
E7	21	9,97	880,33	418,90	438,86	104,77
E8	21	11,49	537,35	250,75	250,17	99,77
Geral	-	4,51	880,33	157,0080	252,8555	80,52

<sup>1</sup>Ensaio descrito na Tabela 1. <sup>2</sup>Casos descritos na Tabela 2.

Analisando a multicolinearidade pelo indicador *DET*, não haveria problemas de multicolinearidade entre os caracteres produtivos para todos os 168 casos de estudo. Isso porque, segundo a regra prática, somente haveria multicolinearidade entre as variáveis quando *DET* apresentar inferior a 0,00001 (FIELD, 2009).

Diferentemente ao constatado pelo indicador *DET*, foi constatado grau de multicolinearidade em níveis baixos à severo considerando *NC* e ausência e presença por *FIV*.

Para *FIV*, a estimativa média do grau de multicolinearidade foi de 157,0080 ( $4,51 \leq FIV \leq 880,33$ ).

O resumo do tamanho de amostra ( $n$ ), a estimativa do grau de multicolinearidade referente ao tamanho de amostra ( $Yn$ ) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), após o ajuste de modelos não lineares em 21 casos de estudo ensaio<sup>-1</sup> e em oito ensaios (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) na cultura do centeio estão apresentados na Tabela 16 para o método de máxima curvatura modificado (*MMCM*), na Tabela 17 para o modelo linear segmentado com resposta platô (*MLRP*) e na Tabela 18 para o modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*). Foi apresentado, os *MQRP* ajustados para os ensaios e casos de estudo que apresentaram a menor e a maior estimativa do grau de multicolinearidade, para cada indicador. Na Figura 6 estão plotados os casos para o indicador *NC*, na Figura 7 para *DET* e na Figura 8 para *FIV*.

De maneira geral, o ajuste do grau de multicolinearidade em função do tamanho de amostra planejado foi satisfatório na maioria dos casos. No entanto, foi constatado ao menos um caso em que houve o não ajuste das 197 médias do grau de multicolinearidade e função do tamanho de amostra para *DET*, com  $R^2 = 0,00$ .

Em média, o modelo de máxima curvatura modificado (*MMCM*) apresentou  $R^2$  de 0,62 para o indicador *NC*,  $R^2 = 0,65$  para *DET* e  $R^2 = 0,62$  para *FIV*. Já o modelo linear segmentado com resposta platô (*MLRP*) e modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*) apresentaram, em média,  $R^2$  superiores a 0,80. Os melhores ajustes foram obtidos pelo *MQRP*, com  $0,89 \leq R^2 \leq 0,94$ ,  $0,00 \leq R^2 \leq 0,93$  e  $0,88 \leq R^2 \leq 0,93$  para os indicadores *NC*, *DET* e *FIV*, respectivamente, com exceção de um caso para o indicador *DET*.

Devido ao ajuste superior do grau de multicolinearidade em função do tamanho de amostra por meio do *MQRP*, este modelo foi optado para ser utilizado na determinação do tamanho de amostra ( $n$ ). Além de que, devido ao baixo valor de  $R^2$ , estimativas elevadas de  $n$  considerando os indicadores *NC* e *FIV* e não conseguir estimar  $n$  para *DET*, não se recomenda utilizar o *MMCM* para a determinação do tamanho de amostra para detectar o grau de multicolinearidade em caracteres produtivos de centeio.

De acordo com *MQRP*, são necessários em média de 99 plantas ( $66 \leq n \leq 135$ ) quando o diagnóstico for realizado por *NC*. O menor valor de  $n$  foi para caso no ensaio E3 e o maior em E2. Para o indicador *DET*, são necessários, em média, de 169 plantas ( $51 \leq n \leq 855$ ), tendo como o menor e o maior valor estimados em casos no ensaio E2. Para o indicador *FIV*, o tamanho de amostra médio é semelhante ao necessário para o indicador *NC*, com o menor tamanho em caso de E3 ( $n = 68$ ) e o maior tamanho de amostra em E2 ( $n = 141$ ).

Tabela 16 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para  $n$  para o indicador número de condição ( $NCn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador número de condição. Dados de caracteres produtivos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Casos <sup>2</sup>	Tamanho de amostra ( $n$ )			$NCn$			$R^2$		
		Mín	Máx	M	Mín	Máx	M	Mín	Máx	M
----- Método da Máxima Curvatura Modificado ( <i>MMCM</i> ) -----										
E1	21	10	641	191	29	188	118	0,59	0,64	0,62
E2	21	40	4.845	1.605	42	379	199	0,58	0,74	0,63
E3	21	18	60.522	17.076	31	140	72	0,55	0,68	0,60
E4	21	20	2.308.872	605.559	40	1.330	589	0,58	0,75	0,63
E5	21	11	1.853.323	508.395	44	1.103	484	0,56	0,65	0,61
E6	21	8	4.817	1.427	33	453	219	0,59	0,65	0,62
E7	21	70	768.145	229.194	55	3.464	1.541	0,60	0,69	0,64
E8	21	56	933.068	316.623	61	1.344	618	0,59	0,67	0,62
Geral	-	8	2.308.872	210.009	29	3.464	480	0,55	0,75	0,62
----- Modelo Linear Segmentado com Resposta Platô ( <i>MLRP</i> ) -----										
E1	21	71	86	78	20	193	110	0,85	0,88	0,87
E2	21	67	101	80	32	469	224	0,85	0,89	0,87
E3	21	55	91	70	25	201	122	0,86	0,91	0,88
E4	21	66	96	76	30	4.358	1.701	0,86	0,90	0,87
E5	21	66	81	74	34	3.452	1.405	0,86	0,89	0,87
E6	21	71	86	79	24	534	242	0,85	0,88	0,87
E7	21	71	91	81	52	6.253	2.667	0,86	0,89	0,87
E8	21	67	85	76	50	3.533	1.478	0,86	0,89	0,87
Geral	-	55	101	77	20	6.253	994	0,85	0,91	0,87
----- Modelo Quadrático Segmentado com Resposta Platô ( <i>MQRP</i> ) -----										
E1	21	92	110	101	20	193	110	0,89	0,91	0,90
E2	21	87	135	103	32	469	224	0,89	0,92	0,91
E3	21	66	118	88	25	202	122	0,90	0,94	0,91
E4	21	84	130	99	30	4.354	1.700	0,90	0,93	0,91
E5	21	85	105	95	34	3.448	1.404	0,89	0,92	0,91
E6	21	92	112	102	24	534	242	0,89	0,91	0,90
E7	21	93	117	104	52	6.248	2.665	0,90	0,92	0,91
E8	21	89	110	98	50	3.528	1.477	0,89	0,93	0,91
Geral	-	66	135	99	20	6.248	993	0,89	0,94	0,91

<sup>1</sup>Ensaios descritos na Tabela 1. <sup>2</sup>Casos descritos na Tabela 2.

Tabela 17 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para  $n$  para o indicador determinante da matriz de correlação ( $DETn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador determinante da matriz de correlação. Dados de caracteres produtivos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 e E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Casos <sup>2</sup>	Tamanho de amostra ( $n$ )			$DETn$			$R^2$		
		Mín	Máx	M	Mín	Máx	M	Mín	Máx	M
----- Método da Máxima Curvatura Modificado ( <i>MMCM</i> ) -----										
E1	21	0	0	0	0,00055	0,03416	0,00688	0,20	0,75	0,63
E2	21	0	0	0	0,00018	0,01045	0,00272	0,00	0,71	0,56
E3	21	0	0	0	0,00073	0,01746	0,00427	0,29	0,75	0,60
E4	21	0	0	0	0,00001	0,01573	0,00331	0,53	0,75	0,69
E5	21	0	0	0	0,00002	0,02899	0,00612	0,18	0,75	0,61
E6	21	0	0	0	0,00023	0,01878	0,00443	0,62	0,72	0,69
E7	21	0	0	0	0,00000	0,00328	0,00093	0,68	0,78	0,73
E8	21	0	0	0	0,00000	0,00349	0,00099	0,63	0,80	0,71
Geral	-	0	0	0	0,00000	0,03416	0,00371	0,00	0,80	0,65
----- Modelo Linear Segmentado com Resposta Platô ( <i>MLRP</i> ) -----										
E1	21	76	166	122	0,00064	0,07246	0,01452	0,23	0,88	0,79
E2	21	56	132	105	0,00031	0,02361	0,00630	0,00	0,88	0,75
E3	21	50	165	113	0,00057	0,03600	0,00896	0,49	0,89	0,80
E4	21	85	151	125	0,00002	0,05449	0,01202	0,76	0,89	0,86
E5	21	90	159	118	0,00003	0,05886	0,01432	0,29	0,90	0,80
E6	21	96	135	121	0,00049	0,04863	0,01202	0,78	0,89	0,87
E7	21	110	161	141	0,00001	0,01174	0,00493	0,87	0,90	0,89
E8	21	103	190	138	0,00001	0,01196	0,00340	0,66	0,89	0,86
Geral	-	50	190	123	0,00001	0,07246	0,00956	0,00	0,90	0,83
----- Modelo Quadrático Segmentado com Resposta Platô ( <i>MQRP</i> ) -----										
E1	21	85	212	161	0,00064	0,07250	0,01453	0,23	0,92	0,83
E2	21	51	885	172	0,00031	0,02362	0,00630	0,00	0,91	0,78
E3	21	60	219	148	0,00057	0,03602	0,00896	0,50	0,92	0,83
E4	21	112	207	169	0,00002	0,05454	0,01203	0,79	0,92	0,89
E5	21	111	200	154	0,00003	0,05889	0,01432	0,29	0,93	0,84
E6	21	133	183	164	0,00049	0,04867	0,01202	0,82	0,92	0,90
E7	21	151	229	195	0,00001	0,01175	0,00493	0,91	0,93	0,92
E8	21	145	268	185	0,00001	0,01196	0,00341	0,69	0,92	0,89
Geral	-	51	885	169	0,00001	0,07250	0,00956	0,00	0,93	0,86

<sup>1</sup>Ensaio descritos na Tabela 1. <sup>2</sup>Casos descritos na Tabela 2.

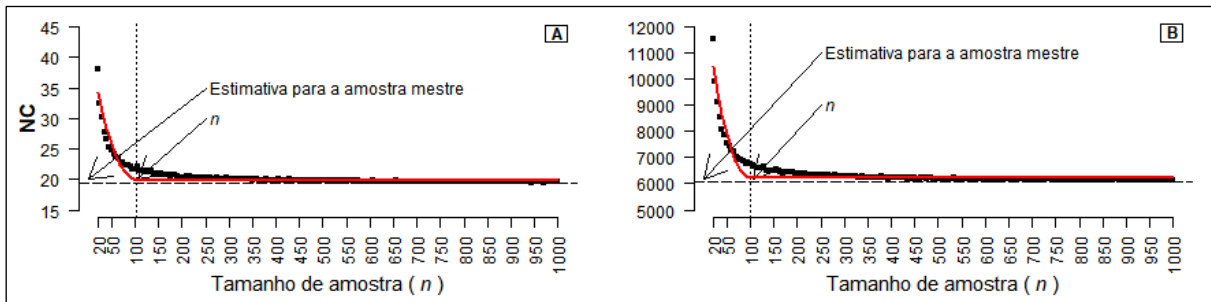


Tabela 18 – Número de casos de estudo e valores mínimo (Mín), máximo (Máx) e média (M) do tamanho de amostra ( $n$ ), estimativa do grau de multicolinearidade obtido no ajuste de modelo para  $n$  para o indicador fator de inflação da variância ( $FIVn$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), para três modelos ajustados para o indicador fator de inflação da variância. Dados de caracteres produtivos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.), obtidos em oito ensaios de uniformidade (E1, E2, E3, ..., E8) conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.

Ensaio <sup>1</sup>	Casos <sup>2</sup>	Tamanho de amostra ( $n$ )			$FIVn$			$R^2$		
		Mín	Máx	M	Mín	Máx	M	Mín	Máx	M
----- Método da Máxima Curvatura Modificado (MMCM) -----										
E1	21	0	18	5	8	47	29	0,57	0,66	0,61
E2	21	1	82	36	12	79	48	0,56	0,75	0,62
E3	21	0	679	257	10	42	27	0,53	0,67	0,59
E4	21	0	34.518	11.487	11	351	166	0,58	0,73	0,62
E5	21	0	29.594	10.329	11	294	132	0,57	0,69	0,62
E6	21	0	87	33	9	97	50	0,57	0,66	0,61
E7	21	2	16.442	5.285	17	768	341	0,60	0,70	0,64
E8	21	1	22.736	7.491	17	399	179	0,56	0,65	0,61
Geral	-	0	34.518	4.365	8	768	121	0,53	0,75	0,62
----- Modelo Linear Segmentado com Resposta Platô (MLRP) -----										
E1	21	71	86	78	5	36	21	0,85	0,88	0,87
E2	21	67	106	80	7	67	39	0,85	0,89	0,87
E3	21	56	91	71	6	32	23	0,86	0,90	0,88
E4	21	66	96	77	7	578	268	0,86	0,89	0,88
E5	21	70	86	77	7	447	216	0,84	0,89	0,87
E6	21	72	86	78	5	85	41	0,85	0,89	0,87
E7	21	76	91	83	10	903	430	0,86	0,89	0,87
E8	21	70	86	75	12	556	260	0,86	0,89	0,87
Geral	-	56	106	77	5	903	162	0,84	0,90	0,87
----- Modelo Quadrático Segmentado com Resposta Platô (MQRP) -----										
E1	21	89	112	100	5	36	21	0,89	0,91	0,90
E2	21	87	141	103	7	67	39	0,89	0,92	0,91
E3	21	68	117	90	6	32	23	0,90	0,93	0,91
E4	21	85	131	99	7	578	268	0,90	0,93	0,91
E5	21	88	112	99	7	446	216	0,88	0,92	0,91
E6	21	92	111	100	5	85	41	0,89	0,92	0,91
E7	21	98	121	108	10	903	429	0,90	0,92	0,91
E8	21	84	110	96	12	555	260	0,89	0,92	0,91
Geral	-	68	141	99	5	903	162	0,88	0,93	0,91

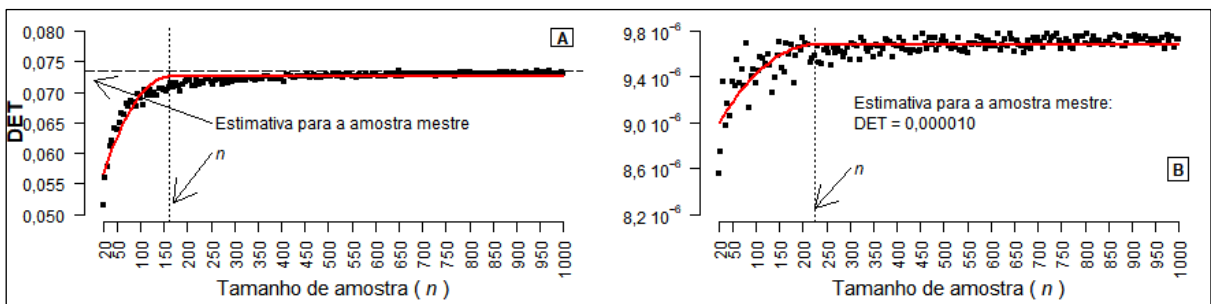
<sup>1</sup>Ensaio descritos na Tabela 1. <sup>2</sup>Casos descritos na Tabela 2.

Figura 6 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*) para o grau de multicolinearidade pelo indicador número de condição (*NC*) em caracteres produtivos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.



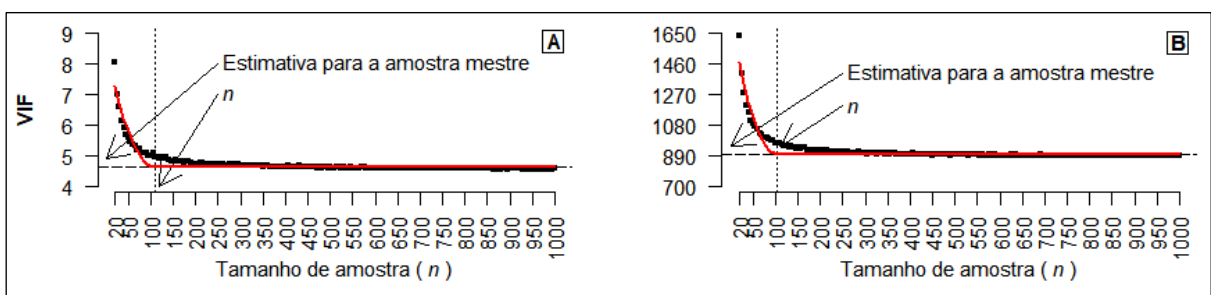
Caso e ensaio com a menor [A] e maior [B] estimativa de *NC* para a amostra mestre (Tabelas 14 e 15).

Figura 7 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*) para o grau de multicolinearidade pelo indicador determinante da matriz de correlação (*DET*) em caracteres produtivos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.



Caso e ensaio com a menor [A] e maior [B] estimativa de *DET* para a amostra mestre (Tabela 15).

Figura 8 – Tamanho de amostra estimado pelo modelo quadrático segmentado com resposta platô (*MQRP*) para o grau de multicolinearidade pelo indicador fator de inflação da variância (*FIV*) em caracteres produtivos de duas cultivares de centeio (*Secale cereale* L.) em oito ensaios de uniformidade conduzidos na safra 2016 em Santa Maria – RS.



Caso e ensaio com a menor [A] e maior [B] estimativa de *FIV* para a amostra mestre (Tabela 15).

Não foram encontrados estudos para comparação do tamanho de amostra recomendado para a detecção do grau de multicolinearidade quando da utilização dos indicadores *NC* e *FIV*. Entretanto, há indicações de que tamanhos de amostras insuficientes podem não estimar corretamente o grau de multicolinearidade (OLIVOTO et al., 2017b; SARI et al., 2018). Segundo Sari et al. (2018), há a indicação de que são necessárias amostras superiores a 45 plantas com intervalo de 95% e que quando utilizado tamanhos superiores a 135, não haveria a interferência de *n* na estimativa do grau de multicolinearidade.

A fim de verificar a variabilidade do tamanho de amostra entre os indicadores, foi comparado os valores médios de *n* pelo teste *t* de Student para amostras dependentes, a 5% de probabilidade de erro. Para tanto, foram considerados valores de *n* em 168 casos de estudo (8 ensaios  $\times$  21 casos ensaio<sup>-1</sup>). Diferenças foram constatadas entre *NC*  $\times$  *DET* ( $t=13,745$ , *valor-p*=0,000) e *DET*  $\times$  *FIV* ( $t=13,600$ , *valor-p*=0,000). Não foi verificado haver diferenças entre *NC*  $\times$  *FIV* ( $t=1,659$ , *valor-p*=0,098). Estes resultados sugerem que para detectar o grau de multicolinearidade em matrizes de caracteres produtivos em centeio, é necessário utilizar tamanho de amostra de acordo com o método pretendido a ser utilizado. Quando o diagnóstico for pretendido ser realizado por *DET*, é necessário utilizar no mínimo 169 plantas. No entanto, tamanho de amostra composto por no mínimo 99 plantas podem ser utilizadas para diagnosticar o grau de multicolinearidade.

#### 4.4 DISCUSSÃO GERAL

O tamanho de amostra (*n*) para o diagnóstico do grau de multicolinearidade em caracteres morfológicos e produtivos de centeio possui variabilidade. São necessários diferentes tamanhos para o diagnóstico quando utilizado os indicadores número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*). De maneira geral, para os indicadores *NC* e *DET*, há necessidade de tamanhos maiores de *n* para o diagnóstico do grau de multicolinearidade em matriz de correlação de caracteres morfológicos. Já para o indicador *FIV*, maior tamanho de amostra é necessário em caracteres produtivos.

Não foram encontrados trabalhos com a cultura do centeio para comparar com o *n* determinado por *MQRP* neste estudo. Já em estudos utilizando banco de dados de milho e tomate cereja, foram realizadas algumas observações quanto ao tamanho de amostra. Há indicações de que tamanhos de amostras insuficientes podem não estimar corretamente o grau de multicolinearidade (OLIVOTO et al., 2017b; SARI et al., 2018). E em estudo realizado com a cultura de tomate cereja, seriam necessários tamanhos de amostra superiores a 45 plantas com

5% de probabilidade de erro para o indicador *DET* e que em situações de tamanho de amostra superiores a 135 plantas, não haveria interferência da amostra no diagnóstico do grau de multicolinearidade (SARI et al., 2018).

Em outras culturas, o grau de multicolinearidade foi determinado utilizando tamanhos de amostra variados. Menores tamanhos de amostra para o diagnóstico do grau de multicolinearidade foram utilizados 62 plantas em estudo com frutos de pimentas (MOREIRA et al., 2013), 54 parcelas em híbridos transgênicos (ALVES et al., 2016), 96 parcelas de meios-irmãos de couve (AZEVEDO et al., 2016), 66 parcelas de milho de ciclo superprecoce (ALVES; CARGNELUTTI FILHO; BURIN, 2017) e 32 parcelas em girassol (FOLLMANN et al., 2019). Já tamanhos de amostra maiores para o diagnóstico foram utilizados em crotalária (100 plantas) (TOEBE et al., 2017b), caracteres de feijão de porco (194 plantas) (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018a) e tomate cereja (347 plantas) em estudo do impacto do tamanho da amostra sobre o diagnóstico da multicolinearidade em análise de trilha (SARI et al., 2018). Em milho foram utilizadas observações de 108 parcelas de híbridos de ciclo precoce (ALVES; CARGNELUTTI FILHO; BURIN, 2017), 361, 372 e 416 plantas em híbridos simples, triplo e duplo, respectivamente (TOEBE et al., 2017a, 2017c).

Considerando os indicadores *NC* e *DET*, o tamanho de amostra necessário em caracteres morfológicos e produtivos, contraria os estudos quanto ao dimensionamento para a avaliação de médias de caracteres. Para a estimação de média e mediana em caracteres produtivos com a mesma precisão, são necessários tamanhos de amostras maiores do que em caracteres morfológicos e foram obtidos em estudos de determinação do tamanho de amostra em aveia preta (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015), em feijão guandu (FACCO et al., 2015, 2016), em linho (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018b), em nabo forrageiro (CARGNELUTTI FILHO et al., 2014) e em tremoço branco (BURIN et al., 2014).

Estes resultados sugerem que há a necessidade, o pesquisador prever se a análise a ser utilizada necessitará realizar o diagnóstico do grau de multicolinearidade. Assim como, também o pesquisador precisará especificar de antemão por qual indicador o diagnóstico do grau de multicolinearidade será realizado.

Neste trabalho procurou-se determinar o tamanho de amostra para o diagnóstico do grau de multicolinearidade e se haveria a necessidade de tamanhos de amostra diferentes ou não quando a multicolinearidade for detectada pela utilização de número de condição, determinante da matriz de correlação e fator de inflação da variância em caracteres morfológicos e produtivos. Não foi contemplado o efeito de época neste trabalho, pois foi considerado cada época e cultivar como um ensaio para aumentar os cenários contemplados no estudo. Diante

disso, haveria a necessidade de realizar estudo também da variabilidade do tamanho de amostra entre cultivares e épocas de semeadura e/ou avaliação. Não somente o tamanho de amostra para detecção do grau de multicolinearidade, mas também estudos dos impactos de níveis de severidade de multicolinearidade em análises multivariadas.

## 5 CONCLUSÃO

Há variabilidade no tamanho de amostra entre os indicadores número de condição (*NC*), determinante da matriz de correlação (*DET*) e fator de inflação da variância (*FIV*) para o diagnóstico do grau de multicolinearidade em caracteres morfológicos de centeio, com o aumento na seguinte ordem: *FIV*, *NC* e *DET*, e são necessários, no mínimo, de 85, 116 e 180 plantas, respectivamente.

O tamanho de amostra não varia entre os indicadores número de condição (*NC*) e fator de inflação de variância (*FIV*), sendo necessário maior número de plantas quando o diagnóstico for realizado pelo determinante da matriz de correlação (*DET*), necessitando tamanhos superiores a 99, 99 e 169 plantas, respectivamente, para a detecção do grau de multicolinearidade em caracteres produtivos de centeio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIN, A. Multicollinearity. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 3, p. 370–374, 2010.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, B. M. et al. Correlações canônicas entre caracteres agronômicos e nutricionais proteicos e energéticos em genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 171–185, 2016.
- ALVES, B. M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Genotypic correlation and path analysis in early and super-early maize genotypes. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1–12, 2017a.
- ALVES, B. M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Linear relationships between agronomic and nutritional traits in transgenic genotypes of maize. **Journal of Cereal Science**, v. 76, p. 35–41, 2017b.
- ALVES, B. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BURIN, C. Multicollinearity in canonical correlation analysis in maize. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1–14, 2017.
- AZEVEDO, A. M. et al. Correlações genotípicas e análise de trilha em famílias de meios-irmãos de couve de folhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 35–44, 2016.
- BAIER, A. C. **Centeio**. Passo Fundo - RS: EMBRAPA Trigo, 1994. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164511/1/FL-06193.pdf>>. Acesso em: 9 nov. 2016.
- BANDEIRA, C. T. et al. Sample sufficiency for estimation of the mean of rye traits at flowering stage. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 3, p. 178–186, 2018a.
- BANDEIRA, C. T. et al. Sample size to estimate the mean of morphological traits of rye cultivars in sowing dates and evaluation times. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 521–532, 2018b.
- BARBOSA, R. P. et al. Early selection of sugarcane using path analysis. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1–8, 2017.
- BASCHE, A. D. et al. Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop. **Agricultural Water Management**, v. 172, p. 40–50, 2016.
- BURIN, C. et al. Dimensionamento amostral para a estimação da média e da mediana de caracteres de tremoço branco (*Lupinus albus* L.). **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 2, p. 205–212, 2014.
- BUSHUK, W. Rye production and uses worldwide. *Cereal Foods World*, v. 46, n. 2, p. 70–73, fev. 2001.
- BUSSAB, W. de O.; MORETIN, P. A. **Estatística Básica**. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra e relações lineares de caracteres morfológicos e produtivos de crambe. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2262–2267, 2010a.

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. 1, p. 1363–1371, 2010b.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação de Pearson entre caracteres de *Crambe abyssinica*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 149–158, 2011.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres morfológicos e produtivos de nabo forrageiro. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 223–227, 2014.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Dimensionamento amostral para avaliar caracteres morfológicos e produtivos de aveia preta em épocas de avaliação. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 9–13, 2015.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Linear relations among traits in jack bean (*Canavalia ensiformis*). **Bioagro**, v. 30, n. 2, p. 157–162, 2018a.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Sample size to estimate the mean and median of traits in flax. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 1–7, 2018b.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Sample size to estimate the mean of traits in jack bean. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 1–7, 2018c.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Sample size to estimate the mean and median of traits in canola. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 11, p. 123–137, 2018d.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres de sementes de feijão guandu anão. **Agrarian**, v. 11, n. 41, p. 294–298, 2018e.

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.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 6 jan. 2019.

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

DONAZZOLO, J. et al. Path analysis for selection of feijoa with greater pulp weight. **Ciência Rural**, v. 47, n. 6, p. 1–7, 2017.

DORMANN, C. F. et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecography**, v. 36, n. 1, p. 27–46, 2013.

EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the Jackknife. **The Annals of Statistics**, v. 7, n. 1, p. 1–26, 1979.



- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy. **Statistical Science**, v. 1, n. 1, p. 54–75, 1986.
- FACCO, G. et al. Sample size for morphological traits of pigeonpea. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 6, Suplemento 2, p. 4151–4164, 2015.
- FACCO, G. et al. Sample size for estimating average productive traits of pigeon pea. **Ciência Rural**, v. 46, n. 4, p. 619–625, 2016.
- FERRAZZA, J. M. et al. Produção de forrageiras anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 379–389, 2013.
- FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2009.
- FERREIRA, D. F. **Estatística computacional em Java**. 1. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2013.
- FIELD, A. **Descobrendo a estatística utilizando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- FIGUEIREDO FILHO, D. et al. O que fazer e o que não fazer com a regressão: Pressupostos e aplicações do modelo linear de mínimos quadrados ordinários (MQO). **Revista Política Hoje**, v. 20, n. 1, p. 44–99, 2011.
- FOLLMANN, D. N. et al. Correlations and path analysis in sunflower grown at lower elevations. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 445–453, 2019.
- GEIGER, H. H.; MIEDANER, T. Rye Breeding. In: **Cereals**. USA: Springer, 2009. p. 157–181.
- GOODHUE, D. L.; LEWIS, W.; THOMPSON, R. Multicollinearity and measurement error statistical blind spot: correcting for excessive false positives in regression and PLS. **MIS Quarterly**, v. 41, n. 3, p. 667–684, 2017.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011.
- HAESBAERT, F. M. **Testes de multicolinearidade em variáveis morfológicas e produtivas de tomateiro**. 2016, 62 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.
- HAHN, L. et al. Gramíneas forrageiras anuais de inverno em cultivo estreme e em sobressemeadura em tifton 85. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1159–1169, 2015.
- HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2009.
- HARVEY, A. C. Some comments on multicollinearity in regression. **Applied Statistics**, v. 26, n. 2, p. 188–191, 1977.
- IBGE. **Sistema de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>>. Acesso em: 14 dez. 2018.
- KLEINPAUL, J. A. et al. Tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres de milheto em épocas de avaliação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 205–316,

2017.

LEHMEN, R. I. et al. Rendimento, valor nutritivo e características fermentativas de silagens de cereais de inverno. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1180–1185, 2014.

LEITE, M. S. de O. et al. Sample size for full-sib family evaluation in sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1562–1574, 2009.

LESSMAN, K. J.; ATKINS, R. E. Optimum plot size and relative efficiency of lattice designs for grain sorghum yield tests. **Crop Science**, v. 3, n. 6, p. 477, 1963.

MEIER, V. D.; LESSMAN, K. J. Estimation of optimum field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. **Crop Science**, v. 11, n. 5, p. 648, 1971.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Cultivares registradas**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

MONTGOMERY, D. C. et al. **Introduction to linear regression analysis**. 5. ed. Hoboken, NJ, USA, New Jersey: John Wiley and Sons, 2012.

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

MOREIRA, S. O. et al. Correlações e análise de trilha sob multicolinearidade em linhas recombinadas de pimenta (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 15–20, 2013.

MORI, C. de; JUNIOR, A. do N.; MIRANDA, M. Z. de. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura do centeio**. Embrapa Trigo. Documentos online, Documento 142. 2013, p. 26

NASCIMENTO JUNIOR, A. do; CAIERÃO, E.; MORI, C. de. BRS Progresso - Rye cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 207–208, 2014.

NASCIMENTO JUNIOR, A. do; LUNARDI, L.; MORI, C. de. **Cultivares de triticales de centeio**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/trigo/busca-de-publicacoes/-/publicacao/849830/cultivares-de-triticales-e-de-centeio>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

OLIVOTO, T. et al. Multicollinearity in path analysis: A simple method to reduce its effects. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 131–142, 2017a.

OLIVOTO, T. et al. Optimal sample size and data arrangement method in estimating correlation matrices with lesser collinearity: A statistical focus in maize breeding. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 93–103, 2017b.

PARIONA, A. **The top 10 rye producing countries of the world**. Disponível em: <<https://www.worldatlas.com/articles/the-top-10-rye-producing-countries-of-the-world.html>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

PAULINO, V. T.; CARVALHO, D. D. de. Pastagens De Inverno. **Revista Científica Eletrônica De Agronomia**, v. 3, n. 5, p. 1–6, 2004.

PEIXOTO, A. P. B.; FARIA, G. A.; MORAIS, A. R. de. Modelos de regressão com platô na estimativa do tamanho de parcelas em experimento de conservação in vitro de maracujazeiro. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 1907–1913, 2011.

PEREIRA, G. A.; MILANI, L. L.; CIRILLO, M. Â. Uso de alguns estimadores *ridge* na análise estatística de experimentos em entomologia. **Revista Ceres**, v. 61, n. 3, p. 338–342, 2014.

R TEAM CORE. **R: A language and environment for statistical computing**. Viena, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RODRÍGUEZ, R. A. et al. Tamaño óptimo de parcela y número de repeticiones para evaluar el rendimiento de boniato con mulch y suelo descubierto. **Agrociencia Uruguay**, v. 22, n. 1, p. 90–97, 2018.

SALLA, V. P. et al. Análise de trilha em caracteres de frutos de jaboticabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 218–223, 2015.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., Brasília, DF: Embrapa: Embrapa Solos, 2018.

SARI, B. G. et al. Interference of sample size on multicollinearity diagnosis in path analysis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 6, p. 769–773, 2018.

SCHABENBERGER, O.; PIERCE, F. J. **Contemporary statistical models for the plant and soil sciences**. [s.l.] CRC Press, 2001.

SCHLEGEL, R. H. J. Chapter 3: Physiology. In: **Rye: genetics, breeding and cultivation**. Boca Raton, USA: CRC Press, 2013. p. 51–84.

SCHMILDT, E. R. et al. Optimum plot size and number of replications in papaya field experiment. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 2, 2016.

SILVA, A.; RÊGO, E.; CECON, P. Tamanho de amostra para caracterização morfológica de frutos de pimenteira. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 125–129, 2011.

SILVA, G. O. da; VIEIRA, J. V; VILLELA, M. S. Tamanho de amostra para avaliação de caracteres de cenoura em sistemas de cultivo agroecológico. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 166–170, 2009.

SILVA, L. F. de O. da et al. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Revista Ceres**, v. 59, n. 5, p. 624–629, 2012.

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.

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.

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, 2017a.

TOEBE, M. et al. Dimensionamento amostral e associação linear entre caracteres de *Crotalaria*

*spectabilis*. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 45–53, 2017b.

TOEBE, M. et al. Direct effects on scenarios and types of path analyses in corn hybrids. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1–15, 2017c.

TOEBE, M. et al. Sample size for estimating mean and coefficient of variation in species of crotalarias. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1705–1715, 2018.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 466–477, 2013a.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Multicollinearity in path analysis of maize (*Zea mays* L.). **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 453–462, 2013b.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, n. 6, p. 415–421, 1974.

ZIECH, A. R. D. et al. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374–382, 2015.

## APÊNDICE A – Rotina em R para as reamostragens e grau de multicolinearidade

```
#####
####      Rotina:                                #####
####      - Reamostragem                        #####
####      - Detecção Grau de multicolinearidade #####
#####
### Função: fator de inflação da variância presente no pacote faraway em R
FARAWAY.vif <- function(object)
{ # Disponível em: <https://github.com/cran/faraway>
  if(!is.data.frame(object) & !is.matrix(object)) stop("Not matrix or data frame")
  if(is.data.frame(object)) object <- as.matrix(object)
  ncols <- dim(object)[2]
  v <- numeric(ncols)
  names(v) <- dimnames(object)[[2]]
  for(i in 1:ncols) v[i] <- 1/(1-summary(lm(object[,i]~object[,-i]))$r.squared)
  v
}

### Configuração Inicial
R <- 2000 # Número de reamostragens dentro de cada tamanho de amostra planejado
Vetor <- seq(20, 1000, 5) # Tamanhos de amostra planejados
### Importação arquivo de dados da amostra mestre
Dados <- read.table("Centeio.txt", sep=";", dec=".", header=TRUE)
### Arquivos onde são salvos os resultados
ResNC <- matrix(NA, ncol=length(Vetor), nrow=R) # Resultados de NC
ResDET <- matrix(NA, ncol=length(Vetor), nrow=R) # Resultados de DET
ResFIV <- matrix(NA, ncol=length(Vetor), nrow=R) # Resultados de FIV
### Início da análise
for (j in 1:length(Vetor))
{
  for (i in 1:R)
  {
```

```
NumSort <- sample(1:dim(MatDados)[1], size = as.numeric(Vetor[j]), replace = TRUE)
MatSort <- Dados[NumSort, ]
Correl <- cor(MatSort, use = "complete.obs") # Matriz de correlação
# Determinante
ResDET[i, j] <- det(Correl)
# Autovalores
Autovalores <- as.vector (eigen(Correl)$values)
# Número de Condição
ResNC[i, j] <- (max(Autovalores) / min(Autovalores))
ResVIF[i, j] <- max (FARAWAY.vif (MatSort))
}
}
### Fim da análise
```