



ISSN: 2525-815X

# Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: [www.jeap.ufrpe.br/](http://www.jeap.ufrpe.br/)

10.24221/jeap.8.4.2023.6301.307-318



## Tamanho ótimo de parcela em grão-de-bico comparando três métodos de estimação

### Optimal plot size in chickpea comparing three estimation methods

Alberto Cargnelutti Filho<sup>a\*</sup>, Murilo Vieira Loro<sup>a</sup>, Vithória Morena Ortiz<sup>a</sup>, João Augusto Andretta<sup>a</sup>, Mikael Brum dos Reis<sup>a</sup>, Bruno Raul Schuller<sup>a</sup>, João Carlos Denardin Junior<sup>a</sup>, Marcelo Konrad<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Centro de Ciência Rurais, Departamento de Fitotecnia. Avenida Roraima, n. 1000, Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 97105-900. E-mail: [alberto.cargnelutti.filho@gmail.com](mailto:alberto.cargnelutti.filho@gmail.com), [uriloloro@gmail.com](mailto:uriloloro@gmail.com), [vithoria.ortiz159@gmail.com](mailto:vithoria.ortiz159@gmail.com), [joao.andretta@acad.ufsm.br](mailto:joao.andretta@acad.ufsm.br), [mikareis1999@gmail.com](mailto:mikareis1999@gmail.com), [bruninhoschuller2904@gmail.com](mailto:bruninhoschuller2904@gmail.com), [joao.denardin@acad.ufsm.br](mailto:joao.denardin@acad.ufsm.br), [marcelo.konrad@acad.ufsm.br](mailto:marcelo.konrad@acad.ufsm.br)\* autor correspondente.

#### ARTICLE INFO

Recebido 28 Set 2023

Aceito 05 Dez 2023

Publicado 07 Dez 2023

#### ABSTRACT

The optimal plot size is an important aspect to be considered in experimental planning. Thus, this study aimed to determine the optimal plot size ( $X_o$ ) to evaluate the number of pods, number of grains, and productivity of grains of the chickpea (*Cicer arietinum* L.), BRS Cristalino cultivar, and check whether  $X_o$  differs between three estimation methods. A uniformity trial was conducted divided into 108 basic experimental units (BEU) of 1 m  $\times$  1 m. The BEU was formed by two rows of 1.0 m in length, spaced 0.50 m apart, totaling 1.0 m<sup>2</sup>. The number of pods m<sup>-2</sup>, number of grains m<sup>-2</sup>, and productivity of grains, in g m<sup>-2</sup>, of chickpea of each BEU were evaluated. The optimal plot size was determined using the methods of modified maximum curvature (MMC), linear response with plateau model (LRP), and quadratic response with plateau model (QRP). The optimal plot size differs between the methods, with values of 15.70 m<sup>2</sup> for QRP, 7.02 m<sup>2</sup> for LRP, and 4.31 m<sup>2</sup> for MMC. The optimal plot size to evaluate the number of pods, number of grains, and productivity of chickpea grains is 7.02 m<sup>2</sup> and the experimental precision stabilizes from this size on.

**Keywords:** *Cicer arietinum*, uniformity trial, coefficient of variation, experimental precision.

#### RESUMO

O tamanho ótimo de parcela é um importante aspecto a ser considerado no planejamento experimental. Assim, os objetivos deste estudo foram determinar o tamanho ótimo de parcela ( $X_o$ ) para avaliar o número de vagens, o número de grãos e a produtividade de grãos de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino, e verificar se  $X_o$  difere entre três métodos de estimação. Foi conduzido um ensaio de uniformidade dividido em 108 unidades experimentais básicas (UEB) de 1 m  $\times$  1 m. A UEB foi formada por duas fileiras de 1,0 m de comprimento, espaçadas 0,50 m entre fileiras, totalizando 1,0 m<sup>2</sup>. Foram avaliados os caracteres: número de vagens m<sup>-2</sup>, número de grãos m<sup>-2</sup> e produtividade de grãos, em g m<sup>-2</sup>, de grão-de-bico de cada UEB. Foi determinado o tamanho ótimo de parcela por meio dos métodos da curvatura máxima modificada (CMM), do modelo linear de resposta com platô (LRP) e do modelo quadrático de resposta com platô (QRP). O tamanho ótimo de parcela difere entre os métodos, com valores de 15,70 m<sup>2</sup> pelo QRP, 7,02 m<sup>2</sup> pelo LRP e 4,31 m<sup>2</sup> pelo CMM. O tamanho ótimo de parcela para avaliar o número de vagens, o número de grãos e a produtividade de grãos de grão-de-bico é 7,02 m<sup>2</sup> e a precisão experimental estabiliza a partir desse tamanho.

**Palavras-Chave:** *Cicer arietinum*, ensaio de uniformidade, coeficiente de variação, precisão experimental.



#### Introdução

Experimentos com culturas de importância agrícola tais como o grão-de-bico (*Cicer arietinum*

L.), da família Fabaceae (Leguminosae) (Nascimento et al., 2016; Sajja et al., 2017; Carvalho et al., 2021) devem ser planejados adequadamente, priorizando a obtenção de elevada precisão experimental (baixo coeficiente de variação) (Pimentel-Gomes, 2009; Storck et al., 2016). O erro experimental, que consiste na variação entre as parcelas que receberam o mesmo tratamento, deve ser minimizado a fim de que menores diferenças entre médias de tratamentos sejam identificadas como significativas, ou seja, não sejam atribuídas as variações do acaso (Pimentel-Gomes, 2009; Storck et al., 2016).

Um aspecto importante no planejamento experimental que pode minimizar o erro experimental é a definição do tamanho ótimo de parcela. Essa minimização deve-se ao fato de que o coeficiente de variação reduz, gradativamente, e de maneira não linear, com o acréscimo do tamanho de parcela (Cargnelutti Filho et al., 2023ab). Esse padrão de resposta possibilita a utilização de distintos métodos de determinação do tamanho ótimo de parcela.

A partir de dados coletados em unidades experimentais básicas (UEB) de ensaios de uniformidade (experimentos em branco), é possível planejar distintos tamanhos de parcela (X) pelo agrupamento de UEB adjacentes e estimar o coeficiente de variação ( $CV_{(X)}$ ) entre as UEB. Os valores de  $CV_{(X)}$  em função de X podem ser relacionados por meio dos métodos da curvatura máxima modificado (CMM) (Meier & Lessman, 1971), do modelo linear de resposta com platô (LRP) (Paranaíba, Ferreira & Morais, 2009) e do modelo quadrático de resposta com platô (QRP) (Peixoto, Faria & Morais, 2011), e possibilitam determinar o tamanho ótimo de parcela ( $X_o$ ) e o coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_o}$ ).

Resultados distintos entre os métodos CMM, LRP e QRP têm sido obtidos nas culturas de maracujazeiro (Peixoto, Faria & Morais, 2011), rabanete (Silva et al., 2012), *Acacia polyphylla* (Alves et al., 2014), cafeeiro (Moreira et al., 2016), batata doce (González et al., 2018), palma forrageira (Guimarães et al., 2019), milho + crotalária ochroleuca + crotalária spectabilis (Cargnelutti Filho et al., 2021a), trigo mourisco (Cargnelutti Filho et al., 2021b), aveia preta + ervilhaca + nabo forrageiro (Cargnelutti Filho et al., 2022a), sorgo forrageiro (Cargnelutti Filho et al., 2022b), trigo (Cargnelutti Filho et al., 2023a) e aveia branca (Cargnelutti Filho et al., 2023b), evidenciando a importância de utilizar mais de um método na determinação do tamanho ótimo de parcela.

Determinação do tamanho ótimo de parcela para avaliar o número de sementes, o peso de sementes e a massa seca da parte aérea de grão-de-

bico, da cultivar do tipo desi, código CNPH 003, foi realizada a partir do método de Hatheway (1961) (Magalhães et al., 2023). No entanto, os tamanhos de parcela determinados, para outra cultivar do tipo kabuli, em outro ambiente de cultivo e a partir de outros métodos poderão gerar estimativas de tamanho de parcela distintas.

Assim, os objetivos deste estudo foram determinar o tamanho ótimo de parcela ( $X_o$ ) para avaliar o número de vagens, o número de grãos e a produtividade de grãos de grão-de-bico (*C. arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino, e verificar se  $X_o$  difere entre três métodos de estimação.

## Material e Métodos

Um ensaio de uniformidade (experimento em branco) foi conduzido com a cultura grão-de-bico (*C. arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino, em área experimental, localizada a 29°42'S, 53°49'W e a 95 m de altitude. Nesse local, o clima é Cfa subtropical úmido (Alvares et al., 2013) e o solo é Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (Santos et al., 2018).

A análise do solo na profundidade de 0 - 20 cm revelou: pH água 1:1: 5,4, Ca: 6,1  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , Mg: 2,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , Al: 0,1  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , H+Al: 6,2  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , índice SMP: 5,7, matéria orgânica: 2,3%, teor de argila: 26,0%, S: 13,4  $\text{mg dm}^{-3}$ , P (Mehlich): 29,9  $\text{mg dm}^{-3}$ , K: 0,573  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , CTC<sub>pH7</sub>: 15,2  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , Cu: 2,4  $\text{mg dm}^{-3}$ , Zn: 1,04  $\text{mg dm}^{-3}$  e B: 0,82  $\text{mg dm}^{-3}$ .

O ensaio de uniformidade, de dimensão 20 m × 7 m (140 m<sup>2</sup>), foi constituído por 14 fileiras com 20 m de comprimento. A semeadura do grão-de-bico foi realizada, manualmente, em 27/07/2022, utilizando o espaçamento de 0,5 m entre fileiras e 0,0625 m entre plantas na fileira (16 semente por m de fileira).

A adubação de base foi realizada em 27/07/2022 com a aplicação de 22,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (450 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula NPK 05-20-20). Foram realizadas duas adubações de cobertura com ureia. A primeira, com 27 kg ha<sup>-1</sup> de N, foi em 22/08/2022, quando as plantas estavam em estágio de desenvolvimento V3, de acordo com escala fenológica descrita em Carvalho et al. (2021). A segunda, também com 27 kg ha<sup>-1</sup> de N, foi em 05/09/2022, quando as plantas estavam em estágio de desenvolvimento V5.

A área central do ensaio de uniformidade, de dimensão 18 m × 6 m (108 m<sup>2</sup>) foi dividida em 108 unidades experimentais básicas (UEB) de 1 m × 1 m (1 m<sup>2</sup>), formando uma matriz de 18 linhas e seis colunas (Figura 1). A UEB foi formada por duas fileiras de 1,0 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m entre fileiras, totalizando 1,0 m<sup>2</sup>.

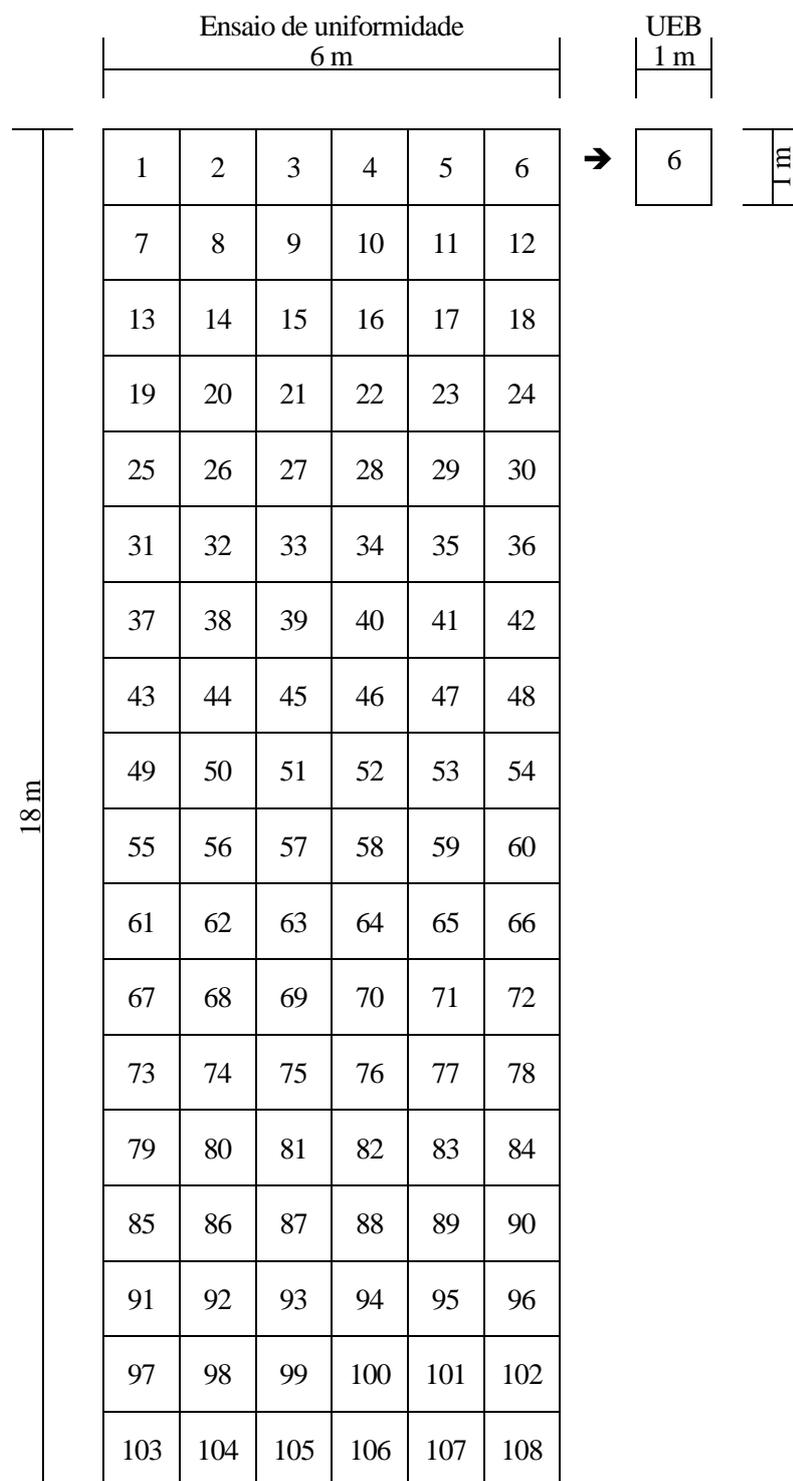


Figura 1. Representação do ensaio de uniformidade de dimensão 18 m × 6 m e a subdivisão em 108 unidades experimentais básicas (UEB) de 1 m<sup>2</sup> (1 m × 1 m). Fonte: Cargnelutti Filho et al. (2023).

Em 16/12/2022 realizou-se a colheita das plantas e, posteriormente, foram avaliados os seguintes caracteres: número de vagens (NV, em n<sup>o</sup> m<sup>-2</sup>), número de grãos (NG, em n<sup>o</sup> m<sup>-2</sup>) e produtividade de grãos (PROD, em g m<sup>-2</sup>) de grão-de-bico de cada UEB de 1 m<sup>2</sup>.

Foram anotados os dados diários de precipitação pluviométrica, em mm, umidade relativa do ar, em %, e temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax) do ar, em °C, da Estação

Meteorológica Automática da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a 100 m da área experimental. Calculou-se a temperatura média (Tmed) diária do ar, em °C, pela expressão:  $T_{med} = (T_{min} + T_{max})/2$ .

Para cada um dos caracteres (NV, NG e PROD), com os dados das 108 UEB, foram planejadas parcelas com X<sub>L</sub> UEB adjacentes na linha e X<sub>C</sub> UEB adjacentes na coluna. As parcelas com distintos tamanhos e/ou formas foram planejadas

como sendo ( $X=X_L \times X_C$ ), ou seja, (1×1), (1×2), (1×3), (1×6), (2×1), (2×2), (2×3), (2×6), (3×1), (3×2), (3×3), (3×6), (6×1), (6×2), (6×3), (6×6), (9×1), (9×2), (9×3), (9×6), (18×1), (18×2) e (18×3). As siglas  $X_L$ ,  $X_C$  e  $X$ , significam, respectivamente, número de UEB adjacentes na linha, número de UEB adjacentes na coluna e tamanho de parcela em número de UEB.

Para cada tamanho de parcela ( $X$ ) foram determinados:  $n$  - número de parcelas com  $X$  UEB de tamanho ( $n=108/X$ ) e  $CV_{(X)}$  - coeficiente de variação (em %) entre as parcelas de  $X$  UEB de tamanho.

Para cada um dos caracteres (NV, NG e PROD), foi determinado o tamanho ótimo de parcela ( $X_o$ ) por meio dos métodos da curvatura máxima modificado (CMM) (Meier & Lessman, 1971), do modelo linear de resposta com platô (LRP) (Paranaíba, Ferreira & Morais, 2009) e do modelo quadrático de resposta com platô (QRP) (Peixoto, Faria & Morais, 2011). Nesses três métodos foram ajustados modelos da variável dependente ( $CV_{(X)}$ , em %) em função da variável independente ( $X$ , em UEB). No ajuste dos modelos foi utilizado o  $CV_{(X)}$  médio entre as parcelas com mesmo tamanho, mas de distintas formas.

No método CMM foram estimados os parâmetros  $a$  e  $b$  e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo  $CV_{(X)} = a/X^b + \varepsilon$ , em que  $\varepsilon$  é o resíduo ou erro aleatório. O  $X_o$  foi determinado por meio da expressão:  $X_o = [a^2 b^2 (2b + 1) / (b + 2)]^{1/(2b+2)}$ . O coeficiente de variação correspondente ao tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_o}$ ) foi determinado por  $CV_{X_o} = a/X_o^b$ .

No método LRP foram ajustadas duas retas segmentadas e estimados os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $p$  e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). A primeira reta ( $CV_{(X)} = a + bX + \varepsilon$ ) foi ajustada até o ponto correspondente ao  $X_o$ , com coeficiente angular ( $b$ ) não nulo. A segunda reta ( $CV_{(X)} = p + \varepsilon$ ) inicia a partir de  $X_o$  e possui o coeficiente angular nulo (reta paralela à abscissa), em que  $p = \text{platô}$ , ou seja,  $p$  corresponde ao  $CV_{X_o}$ . No método LRP, o modelo foi o seguinte:  $CV_{(X)} = \begin{cases} a + bX + \varepsilon & \text{se } X \leq X_o \\ p + \varepsilon & \text{se } X > X_o \end{cases}$ . No método LRP, o  $X_o = (p - a)/b$  e o  $CV_{X_o} = a + bX_o$ .

No método QRP, o ajuste foi realizado por meio de duas equações segmentadas. Foram obtidas as estimativas dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $p$  e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Até o ponto  $X_o$  foi ajustada a parte quadrática do modelo ( $CV_{(X)} = a + bX + cX^2 + \varepsilon$ ). Após  $X_o$ , o modelo transforma-se em uma reta com inclinação zero, denominada platô, cujo modelo é descrito por ( $CV_{(X)} = p + \varepsilon$ ), onde  $p = \text{platô}$ , ou seja,  $p = CV_{X_o}$ . Assim, no método QRP, o modelo foi

$$CV_{(X)} = \begin{cases} a + bX + cX^2 + \varepsilon & \text{se } X \leq X_o \\ p + \varepsilon & \text{se } X > X_o \end{cases}$$

No método QRP, o  $X_o = -b/2c$  e o  $CV_{X_o} = a - b^2/4c$ .

Nos modelos dos métodos LRP e QRP, o ponto de união entre os dois segmentos corresponde ao  $X_o$  na abscissa e  $CV_{X_o}$  na ordenada.

Para cada um dos três caracteres foi determinado o mínimo, o máximo, a média e o coeficiente de variação do ensaio ( $CV$ , %). Além disso, foram estimados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o tamanho ótimo de parcela ( $X_o$ ) e o coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_o}$ , %), em relação aos métodos CMM, LRP e QRP.

As comparações das médias do  $R^2$ ,  $X_o$  e  $CV_{X_o}$  dos três caracteres, entre os métodos (CMM versus LRP, CMM versus QRP e LRP versus QRP), foram realizadas por meio do teste  $t$  de Student (bilateral), para amostras dependentes, a 1% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel® e do software R (R Development Core Team, 2023).

## Resultados e Discussão

Nas condições meteorológicas referentes ao período de realização do ensaio de uniformidade (Figura 2), conduzido em ambiente sequeiro sem o uso de irrigação, obteve-se média de 413,18 vagens  $m^{-2}$ , 368,69 grãos  $m^{-2}$  e 110,66 gramas de grãos  $m^{-2}$  (Tabela 1). Foram contabilizadas 1.851 plantas, no ensaio de uniformidade de 108  $m^2$ , o que equivale a densidade de 171.389 plantas  $ha^{-1}$ . Essa densidade foi inferior em 46,4% ao planejado no momento da semeadura (320.000 plantas  $ha^{-1}$ ). No entanto, a densidade está dentro da faixa de 100.000 a 240.000 plantas  $ha^{-1}$ , que é recomendada para maximizar a produtividade (Nascimento et al., 2016).

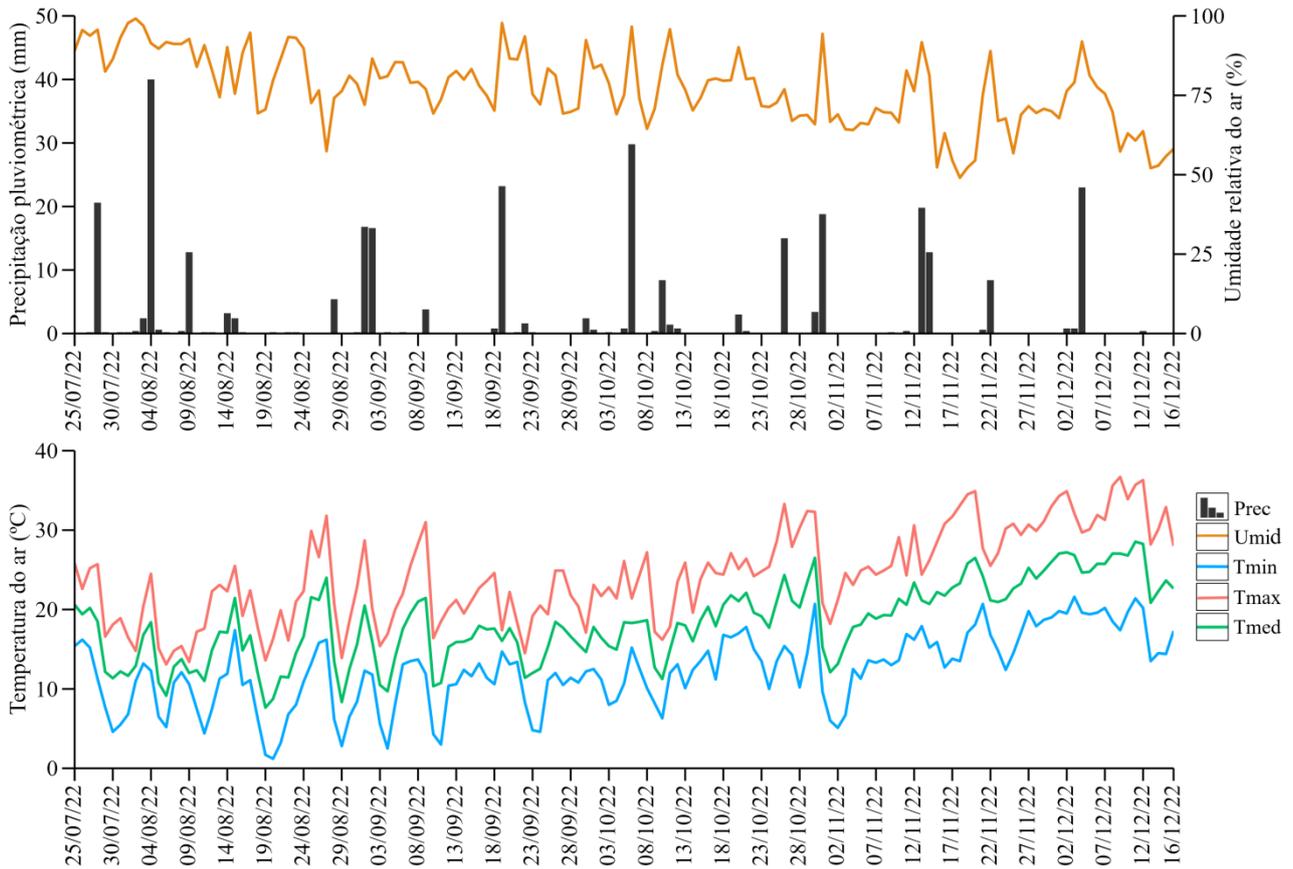


Figura 2. Precipitação pluviométrica (Prec, em mm), umidade relativa do ar (Umid, em %), e temperaturas diárias mínima (Tmin, °C), máxima (Tmax, °C) e média (Tmed, °C) do ar, em °C, referentes ao período de condução do ensaio de uniformidade. Fonte: dados do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br) referentes à Estação Meteorológica Automática da Universidade Federal de Santa Maria.

O número de vagens por planta depende da cultivar e das condições ambientais, especialmente da umidade (Sajja et al., 2017; Carvalho et al., 2021). Cada vagem contém um a dois grãos, raramente três (Sajja et al., 2017) e até quatro foram observados (Nascimento et al., 2016). Nesse estudo, em média,

obteve-se 0,89 grãos por vagem, pelo fato de existirem vagens sem grãos. Também, em média, obteve-se 0,3 g por grão, estando na faixa de 0,3 a 0,5 g, para os grãos do tipo kabuli (Nascimento et al., 2016; Sajja et al., 2017).

Tabela 1. Mínimo, máximo, média e coeficiente de variação do ensaio <sup>(1)</sup> (CV, em %), estimativas dos parâmetros *a*, *b* e *c*, do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do tamanho ótimo de parcela ( $X_o$ , em  $m^2$ ) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_o}$ , em %), em relação aos métodos da curvatura máxima modificado (CMM), modelo linear de resposta com platô (LRP) e modelo quadrático de resposta com platô (QRP), obtidos a partir dos dados do número de vagens, número de grãos e produtividade de grãos de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino. Fonte: Cargnelutti Filho et al. (2023).

Caractere	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$R^2$	$X_o$ ( $m^2$ )	$CV_{X_o}$ (%)
<b>CMM</b>										
Número de vagens $m^{-2}$	151,00	748,00	413,18	29,42	28,287	0,262	-	0,93	4,18	19,46
Número de grãos $m^{-2}$	129,00	687,00	368,69	31,59	30,564	0,240	-	0,93	4,22	21,64
Produtividade de grãos ( $g\ m^{-2}$ )	36,21	232,78	110,66	35,40	34,338	0,231	-	0,92	4,53	24,24
Média	-	-	-	32,13	-	-	-	0,93 a	4,31 c	21,78 a
<b>LRP</b>										
Número de vagens $m^{-2}$	151,00	748,00	413,18	29,42	29,293	-2,346	-	0,84	6,89	13,13
Número de grãos $m^{-2}$	129,00	687,00	368,69	31,59	31,533	-2,339	-	0,83	7,04	15,06
Produtividade de grãos ( $g\ m^{-2}$ )	36,21	232,78	110,66	35,40	35,243	-2,507	-	0,80	7,12	17,39
Média	-	-	-	32,13	-	-	-	0,82 b	7,02 b	15,20 b
<b>QRP</b>										
Número de vagens $m^{-2}$	151,00	748,00	413,18	29,42	28,495	-2,268	0,079	0,87	14,31	12,27

Número de grãos m <sup>2</sup>	129,00	687,00	368,69	31,59	30,382	-2,085	0,066	0,87	15,75	13,96
Produtividade de grãos (g m <sup>-2</sup> )	36,21	232,78	110,66	35,40	33,698	-2,081	0,061	0,85	17,05	15,96
Média	-	-	-	32,13	-	-	-	0,87 b	15,70 a	14,06 b

<sup>(1)</sup> Ensaio de uniformidade de tamanho 18 m × 6 m (108 m<sup>2</sup>) foi dividido em 108 UEB de 1 m × 1 m (1 m<sup>2</sup>), formando uma matriz de 18 linhas e seis colunas. Médias de R<sup>2</sup>, X<sub>o</sub> e CV<sub>x<sub>o</sub></sub>, não seguidas por mesma letra minúscula na coluna (comparação de métodos) diferem a 1% de significância pelo teste t de *Student* (bilateral), para amostras dependentes com 2 graus de liberdade.

Os coeficientes de variação do ensaio (CV), a partir de parcelas de 1 m<sup>2</sup>, foram 29,42%, 31,59% e 35,40%, respectivamente, para os caracteres número de vagens, número de grãos e produtividade de grãos de grão-de-bico (Tabela 1). De acordo com as faixas de classificação estabelecidas por Pimentel-Gomes (2009), para ensaios agrícolas de campo, esses coeficientes de variação situam-se nas classes de baixa (20% < CV ≤ 30%) e muito baixa (CV > 30%) precisão experimental.

É possível utilizar parcelas maiores que 1 m<sup>2</sup> a fim de melhorar a precisão experimental. Isso é confirmado pelo decréscimo não linear do coeficiente de variação [CV<sub>(x)</sub>], com o aumento do tamanho de parcela planejado (X) (Tabela 2, Figuras 3, 4 e 5). Visualiza-se também tendência de estabilização do CV<sub>(x)</sub>, o que confirma a importância de utilizar os métodos CMM, LRP e QRP para determinar o tamanho ótimo de parcela.

Tabela 2. Tamanho de parcela planejado (X=X<sub>L</sub>×X<sub>C</sub>), em unidades experimentais básicas (UEB), com X<sub>L</sub> UEB adjacentes na linha e X<sub>C</sub> UEB adjacentes na coluna; número de parcelas com X UEB de tamanho (n=108/X); coeficiente de variação (em %) entre as parcelas de X UEB de tamanho [CV<sub>(x)</sub>]; e média do coeficiente de variação (em %) entre as parcelas de X UEB de mesmo tamanho, mas distintas formas [CV<sub>(x)</sub>]. Dados de número de vagens m<sup>-2</sup>, número de grãos m<sup>-2</sup> e produtividade de grãos, em g m<sup>-2</sup>, de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino, obtidos em ensaios de uniformidade <sup>(1)</sup>. Fonte: Cargnelutti Filho et al. (2023).

X <sub>L</sub>	X <sub>C</sub>	X	n	Número de vagens		Número de grãos		Produtividade de grãos	
				CV <sub>(x)</sub>	CV <sub>(x)</sub> <sup>(2)</sup>	CV <sub>(x)</sub>	CV <sub>(x)</sub> <sup>(2)</sup>	CV <sub>(x)</sub>	CV <sub>(x)</sub> <sup>(2)</sup>
1	1	1	108	29,42	29,42	31,59	31,59	35,40	35,40
1	2	2	54	21,49	22,69	23,95	24,98	26,95	28,04
2	1	2	54	23,89	-	26,02	-	29,12	-
1	3	3	36	19,21	21,38	21,18	23,81	23,86	27,34
3	1	3	36	23,55	-	26,44	-	30,81	-
2	2	4	27	18,87	18,87	21,01	21,01	23,52	23,52
1	6	6	18	12,99	16,57	15,95	18,86	19,38	21,81
2	3	6	18	16,86	-	18,81	-	20,96	-
3	2	6	18	18,63	-	21,41	-	25,14	-
6	1	6	18	17,81	-	19,27	-	21,75	-
3	3	9	12	16,71	17,82	19,14	20,23	22,37	23,70
9	1	9	12	18,92	-	21,32	-	25,03	-
2	6	12	9	12,34	12,96	15,17	15,13	17,83	17,52
6	2	12	9	13,58	-	15,10	-	17,21	-
3	6	18	6	11,90	12,38	15,48	14,30	19,56	16,76
6	3	18	6	12,78	-	13,97	-	15,67	-
9	2	18	6	14,56	-	16,79	-	19,64	-
18	1	18	6	10,29	-	10,96	-	12,18	-
9	3	27	4	14,77	14,77	16,58	16,58	18,91	18,91
6	6	36	3	9,01	9,77	10,96	11,00	13,39	12,40
18	2	36	3	10,53	-	11,03	-	11,41	-
9	6	54	2	10,07	11,06	13,95	13,14	17,70	15,07
18	3	54	2	12,06	-	12,32	-	12,44	-

<sup>(1)</sup> Ensaio de uniformidade de tamanho 18 m × 6 m (108 m<sup>2</sup>) foi dividido em 108 UEB de 1 m × 1 m (1 m<sup>2</sup>), formando uma matriz de 18 linhas e seis colunas. <sup>(2)</sup> CV<sub>(x)</sub> médio entre as parcelas com mesmo tamanho, mas de distintas formas, utilizado no ajuste dos modelos.

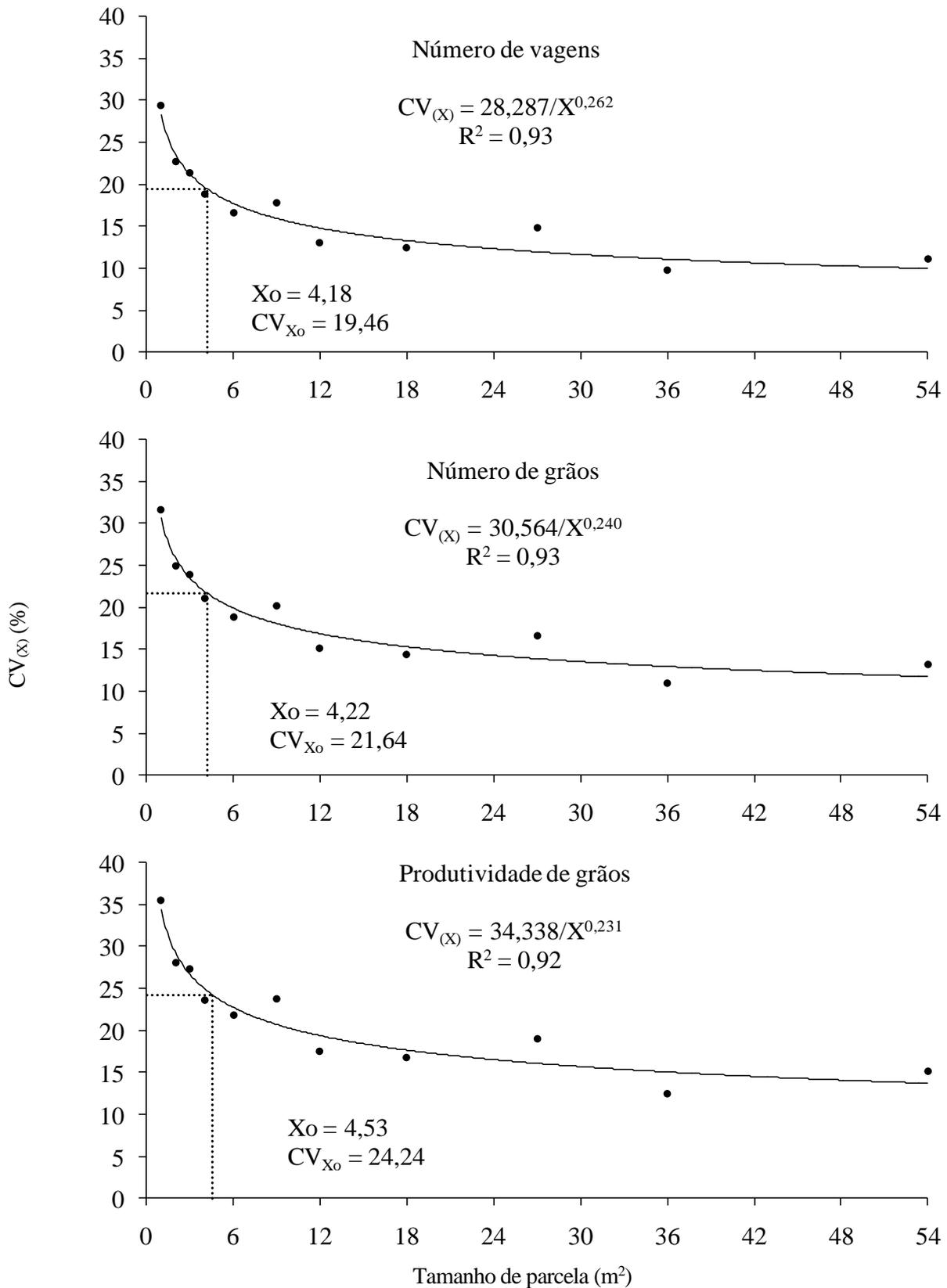


Figura 3. Representação do tamanho ótimo de parcela ( $X_0$ , em  $m^2$ ) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_0}$ , em %), obtidos pelo método da curvatura máxima modificado (CMM), em relação ao número de vagens  $m^{-2}$ , número de grãos  $m^{-2}$  e produtividade de grãos, em  $g\ m^{-2}$ , de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino. Fonte: Cargnelutti Filho et al. (2023).

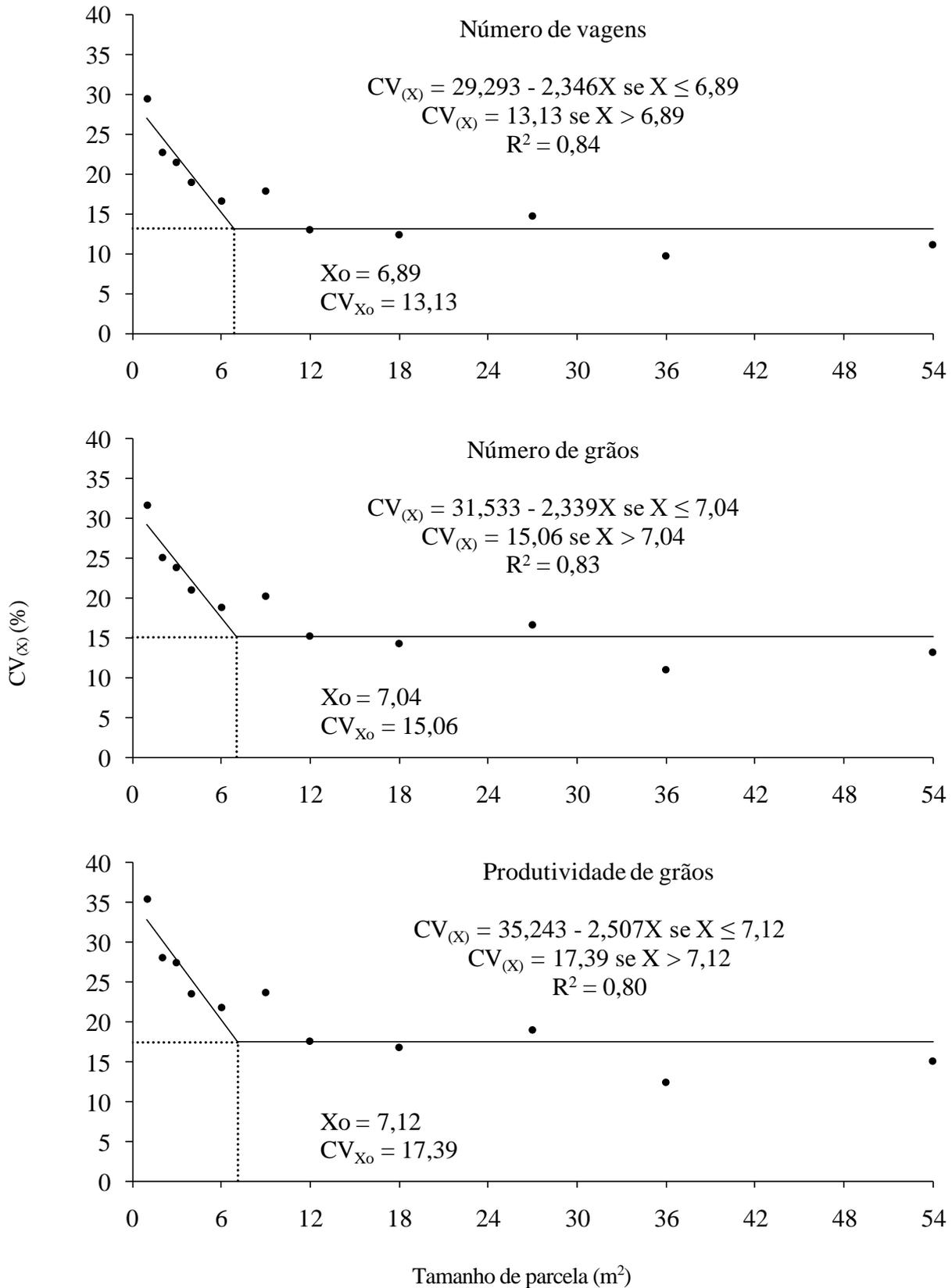


Figura 4. Representação do tamanho ótimo de parcela ( $X_o$ , em m<sup>2</sup>) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_o}$ , em %), obtidos pelo modelo linear de resposta com platô (LRP), em relação ao número de vagens m<sup>-2</sup>, número de grãos m<sup>-2</sup> e produtividade de grãos, em g m<sup>-2</sup>, de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino. Fonte: Cargnelutti Filho et al. (2023).

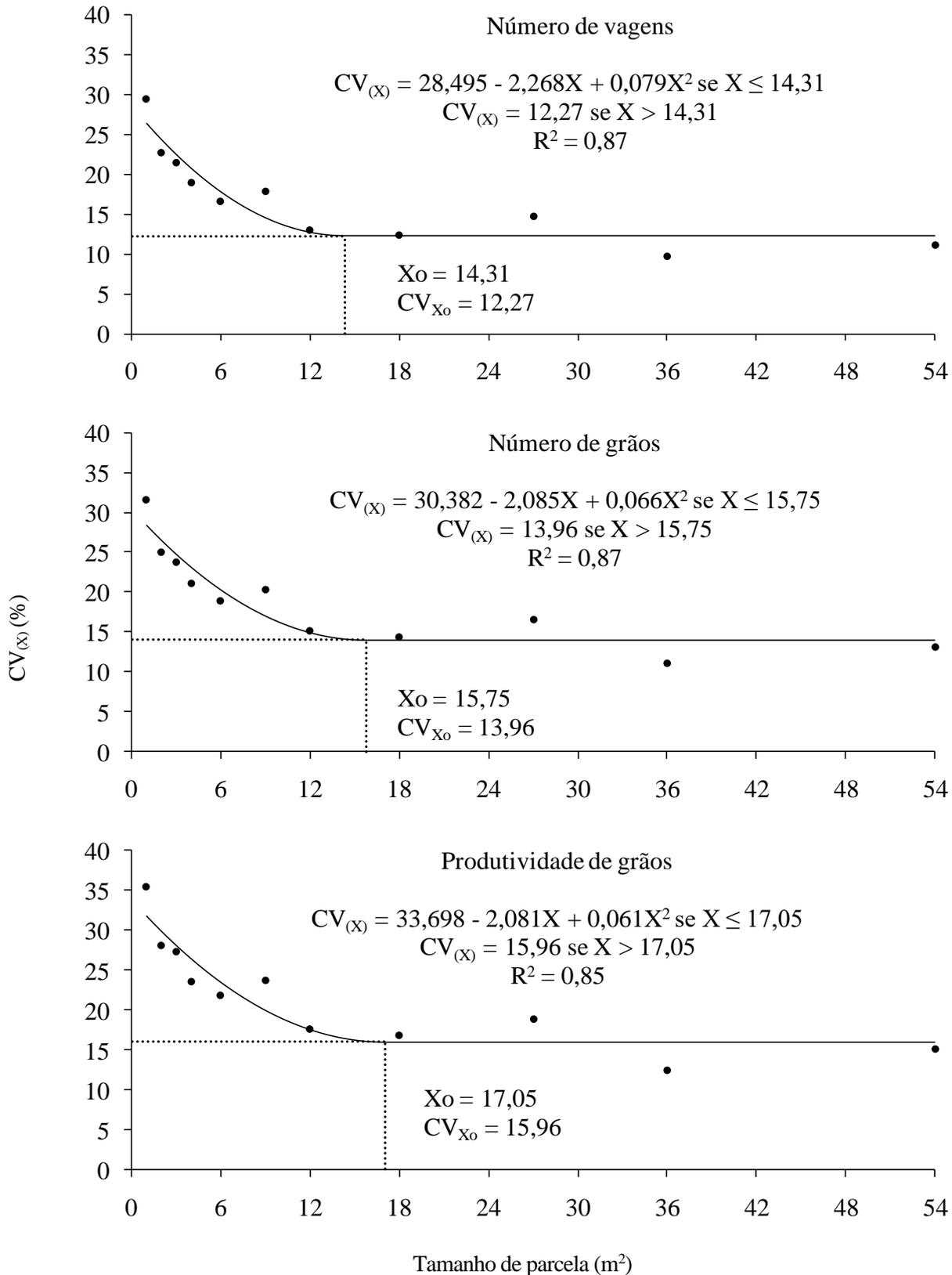


Figura 5. Representação do tamanho ótimo de parcela ( $X_o$ , em m<sup>2</sup>) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_o}$ , em %), obtidos pelo modelo quadrático de resposta com platô (QRP), em relação ao número de vagens m<sup>-2</sup>, número de grãos m<sup>-2</sup> e produtividade de grãos, em g m<sup>-2</sup>, de grãos de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino. Fonte: Cargnelutti Filho et al. (2023).

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), entre os três caracteres, variaram entre 0,92 e 0,93; 0,80 e 0,84; e 0,85 e 0,87, para os métodos da curvatura máxima modificado (CMM), do modelo linear de

resposta com platô (LRP) e do modelo quadrático de resposta com platô (QRP), respectivamente (Tabela 1, Figuras 3, 4 e 5). Deve-se considerar que  $0,00 \leq R^2 \leq 1,00$  e interpreta-se que quanto mais próximo de 1,00

melhor o ajuste dos dados ao modelo (Storck et al., 2016). Nas comparações dos métodos, independentemente do caractere, maiores médias de  $R^2$  (melhores ajustes) foram observadas no CMM (0,93) em relação ao QRP (0,87) e LRP (0,82), que não diferiram entre si. Apesar dessa diferença, considera-se que os três métodos apresentaram  $R^2$  próximos à unidade ( $R^2 \geq 0,82$ ), conferindo credibilidade as estimativas de  $X_0$  e  $CV_{X_0}$ , calculados a partir desses modelos. Isso demonstra que, no mínimo, 82% da variação do coeficiente de variação (variável dependente) é explicada pela variação do tamanho de parcela (variável independente).

Os tamanhos ótimos de parcela ( $X_0$ ), entre os três caracteres, foram maiores no método QRP ( $14,31 \leq X_0 \leq 17,05 \text{ m}^2$ ), intermediários no LRP ( $6,89 \leq X_0 \leq 7,12 \text{ m}^2$ ) e inferiores no CMM ( $4,18 \leq X_0 \leq 4,53 \text{ m}^2$ ) (Tabela 1, Figuras 3, 4 e 5). O  $X_0$  diferiu entre os três métodos, sendo  $15,70 \text{ m}^2$  pelo QRP,  $7,02 \text{ m}^2$  pelo LRP e  $4,31 \text{ m}^2$  pelo CMM. Assim, pode-se inferir que o tamanho de parcela depende do método de estimação.

Os coeficientes de variação no tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_0}$ , em %), entre os três caracteres, variaram entre 19,46 e 24,24%; 13,13 e 17,39%; e 12,27 e 15,96%, para os métodos CMM, LRP e QRP, respectivamente (Tabela 1, Figuras 3, 4 e 5). O  $CV_{X_0}$  foi superior no CMM (21,78%) em relação ao LRP (15,20%) e QRP (14,06%), que não diferiram entre si. Esses resultados, de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009), indicam média precisão experimental com o uso dos tamanhos de parcela determinados pelos métodos LRP e QRP ( $10\% < CV \leq 20\%$ ) e baixa precisão com o CMM ( $20\% < CV \leq 30\%$ ).

Entre os métodos constataram-se médias de  $R^2$  próximas a unidade, apesar da superioridade do CMM ( $R^2 = 0,93$ ) em relação ao QRP ( $R^2 = 0,87$ ) e LRP ( $R^2 = 0,82$ ). As médias de  $X_0$  foram decrescentes, na seguinte ordem: QRP =  $15,70 \text{ m}^2$ ; LRP =  $7,02 \text{ m}^2$ ; e CMM =  $4,31 \text{ m}^2$ . O  $CV_{X_0}$  foi superior no CMM (21,78%) e não houve diferença entre o LRP (15,20%) e o QRP (14,06%). Então, embora os tamanhos de parcela sejam diferentes entre os métodos LRP ( $7,02 \text{ m}^2$ ) e QRP ( $15,70 \text{ m}^2$ ), estes resultam em precisão experimental similar, pois os  $CV_{X_0}$  não diferiram. A não diferença é explicada pelo fato de que, a partir de determinado tamanho de parcela, os ganhos em precisão (diminuição do coeficiente de variação) com o acréscimo da área da parcela são inexpressivos (Figuras 3, 4 e 5). Então, pode-se inferir que parcelas com  $7,02 \text{ m}^2$  são adequadas para o planejamento experimental. Essa indicação de parcelas de  $7,02 \text{ m}^2$  é sustentada pela viabilidade prática a campo e estabilização da precisão a partir desse tamanho e pode ser usada

como referência para o planejamento de experimentos com grão-de-bico.

Tamanho ótimo de parcela para avaliar o número de sementes, o peso de sementes e a massa seca da parte área de grão-de-bico, da cultivar do tipo desi, código CNPH 003, determinado a partir do método de Hatheway (1961) foi de 25 plantas ( $1,25 \text{ m}^2$ ) (Magalhães et al., 2023). Portanto, esse tamanho de parcela de  $7,02 \text{ m}^2$ , necessário para avaliar o número de vagens, o número de grãos e a produtividade de grãos de grão-de-bico (*C. arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino, é comparativamente superior ao apresentado por esses autores. Essas comparações de resultados devem ser analisadas com cautela em função dos distintos métodos utilizados na determinação do tamanho de parcela, das diferenças ambientais, dos distintos manejos dos ensaios de uniformidade e das diferentes cultivares.

Padrão similar ao presente estudo, ou seja, estimativas decrescentes de  $X_0$ , na ordem: modelo quadrático de resposta com platô, modelo linear de resposta com platô e curvatura máxima modificado foram obtidas nas culturas de rabanete (Silva et al., 2012), *Acacia polyphylla* (Alves et al., 2014), cafeeiro (Moreira et al., 2016), batata doce (González et al., 2018), palma forrageira (Guimarães et al., 2019), milho + crotalária ochroleuca + crotalária spectabilis (Cargnelutti Filho et al., 2021a), trigo mourisco (Cargnelutti Filho et al., 2021b), aveia preta + ervilhaca + nabo forrageiro (Cargnelutti Filho et al., 2022a), sorgo forrageiro (Cargnelutti Filho et al., 2022b), trigo (Cargnelutti Filho et al., 2023a) e aveia branca (Cargnelutti Filho et al., 2023b).

## Conclusão

O tamanho ótimo de parcela difere entre os métodos e decresce na seguinte ordem: modelo quadrático de resposta com platô ( $15,70 \text{ m}^2$ ), modelo linear de resposta com platô ( $7,02 \text{ m}^2$ ) e curvatura máxima modificado ( $4,31 \text{ m}^2$ ). O tamanho ótimo de parcela para avaliar o número de vagens, o número de grãos e a produtividade de grãos de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cultivar BRS Cristalino, é  $7,02 \text{ m}^2$  e a precisão experimental estabiliza a partir desse tamanho.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processos 304652/2017-2 e 304878/2022-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, Finance Code 001) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) pela concessão de bolsas aos autores.

## Referências

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves, C. J.; Oliveira, D. S.; Franzao, A. A.; Santana, D. G.; Nomelini, Q. S. S. 2014. Estimativa do tamanho ótimo de parcelas para testes de germinação de sementes da espécie *Acacia polyphylla* DC. *Sigmae*, 3, 88-94. Disponível em: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/433/pdf>. Acesso em: 28/09/2023.
- Cargnelutti Filho, A.; Bubans, V. E.; Somavilla, F. M.; Costa, S. L.; Dumke, G. E.; Osmari, L. F. 2023a. Optimal plot size in wheat with comparison of three methods. *Revista Ciencia Agronomica*, 54, e20218267.
- Cargnelutti Filho, A.; Loregian, M. V.; Bubans, V. E.; Somavilla, F. M.; Costa, S. L. 2021a. Comparison of methods for estimating the optimum plot size for pearl millet, slender leaf rattlebox, and showy rattlebox. *Revista Caatinga*, 34, 249-256. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n201rc>
- Cargnelutti Filho, A.; Loregian, M. V.; Dumke, G. E.; Somavilla, F. M.; Costa, S. L.; Osmari, L. F.; Osmari, B. F. 2021b. Optimal plot size in buckwheat. *Semina-Ciencias Agrarias*, 42, 501-516. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n2p501>
- Cargnelutti Filho, A.; Neu, I. M. M.; Bubans, V. E.; Somavilla, F. M.; Osmari, B. F. 2022a. Methods for estimating the optimal plot size for black oat, common vetch and forage turnip intercropping. *Revista Caatinga*, 35, 974-980. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n425rc>
- Cargnelutti Filho, A.; Silveira, D. L.; Bubans, V. E.; Loro, M. V.; Somavilla, F. M.; Ortiz, V. M. 2023b. Optimal plot size in white oat with comparison of three methods. *Semina-Ciencias Agrarias*, 44, 171-184.
- Cargnelutti Filho, A.; Silveira, D. L.; Trivisiol, V. S.; Bubans, V. E.; Somavilla, F. M.; Ortiz, V. M.; Osmari, B. F.; Osmari, L. F. 2022b. Optimal plot size in forage sorghum with comparison of the methods of modified maximum curvature, linear response and plateau model and quadratic response and plateau model. *Colloquium Agrariae (Unoeste)*, 18, 24-33. <https://doi.org/10.5747/ca.2022.v18.n3.a495>
- Carvalho, S. I. C.; Bianchetti, L. B.; Silva, P. P.; Nascimento, W. M. 2021. Fenologia do grão-de-bico tipo Kabuli. Comunicado Técnico nº 133, Brasília: Embrapa, 26p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/231333/1/COT-133-final1.pdf>. Acesso em 28/09/2023.
- González, G. G. H.; Morais, A. R.; Mendoza, C. A. C.; Bortolini, J.; Liska, G. R. 2018. Estimación del tamaño óptimo de parcela en experimentación com batata dulce. *Agrociencia*, 22, 1-10. <https://doi.org/10.31285/AGRO.22.2.2>
- Guimarães, B. V. C.; Donato, S. L. R.; Aspiazú, I.; Azevedo, A. M.; Carvalho, A. J. 2019. Methods for estimating optimum plot size for 'Gigante' cactus pear. *Journal of Agricultural Science*, 11, 205-215. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n14p205>
- Hatheway, W. H. 1961. Convenient plot size. *Agronomy Journal*, 53, 279-280. <https://doi.org/10.2134/agronj1961.00021962005300040025x>
- Magalhães, J. R.; Azevedo, A. M.; Valadares, N. R.; Fernandes, A. C. G.; Alves, R. A.; Freitas, I. C.; Gomes, L. S. P.; Costa, C. A. 2023. Optimum plot size and number of replications for experiments with the chickpea. *Revista Ciência Agronômica*, 54, e20228506.
- Meier, V. D.; Lessman, K. J. 1971. Estimation of optimum field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. *Crop Science*, 11, 648-650. <https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100050013x>
- Moreira, J. M.; Melo, A. F.; Oliveira, J. M.; Ataides, D. S.; Ribeiro, M. C.; Bortolini, J. 2016. Parcela ótima para a cultura do cafeeiro obtido por simulação de dados com variâncias conhecidas. *Pubvet*, 10, 636-642. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n9.636-642>
- Nascimento, W. M.; Silva, P. P.; Artiaga, O. P.; Suinaga, F. A. 2016. Grão-de-bico. In: Nascimento, W. M. [ed.]. *Hortaliças leguminosas*. Brasília: Embrapa, p. 89-118. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1054423/hortaliças-leguminosas>. Acesso em: 28/09/2023.
- Paranaíba, P. F.; Ferreira, D. F.; Morais, A. R. 2009. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. *Revista Brasileira de Biometria*, 27, 255-268.
- Peixoto, A. P. B.; Faria, G. A.; Morais, A. R. 2011. Modelos de regressão com platô na estimativa do tamanho de parcelas em experimento de conservação *in vitro* de maracujazeiro. *Ciência Rural*, 41, 1907-1913. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011001100010>

- Pimentel-Gomes, F. 2009. Curso de estatística experimental. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 451p.
- R Core Team. 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Sajja, S. B.; Samineni, S.; Gaur, P. M. 2017. Botany of chickpea. In: Varshney, R. K.; Thudi, M.; Muehlbauer, F. J. (ed.). The chickpea genome. Switzerland: Springer International Publishing, 13-24. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66117-9>
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumbrellas, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araújo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa, 356p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003>. Acesso em: 28/09/2023.
- Silva, L. F. O.; Campos, K. A.; Morais, A. R.; Cogo, F. D.; Zambon, C. R. 2012. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. Revista Ceres, 59, 624-629. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500007>
- Storck, L.; Garcia, D. C.; Lopes, S. J.; Estefanel, V. 2016. Experimentação vegetal. Santa Maria: UFSM, 200p.