

Comparação de métodos de estimação do tamanho ótimo de parcela em sorgo e crotalária spectabilis

Comparison of methods for estimating the optimum plot size for sorghum and showy rattlebox

Alberto Cargnelutti Filho
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
E-mail: alberto.cargnelutti.filho@gmail.com
OrCID: <https://orcid.org/0000-0002-8608-9960>

Daniela Lixinski Silveira
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
E-mail: danielisil@gmail.com
OrCID: <https://orcid.org/0000-0003-0993-0100>

Valéria Escaio Bubans
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
E-mail: valeriabubans@hotmail.com
OrCID: <https://orcid.org/0000-0002-4188-0839>

Felipe Manfio Somavilla
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
E-mail: felipe-somavilla@hotmail.com
OrCID: <https://orcid.org/0000-0002-1648-0219>

Bruno Fillipin Osmari
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
E-mail: brunoosmari11@gmail.com
OrCID: <https://orcid.org/0000-0002-3611-0776>

Data de recebimento: 28/09/2021

Data de aprovação: 25/11/2022

DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v15i55.15207>

Resumo: O objetivo deste trabalho foi comparar dois métodos de estimação do tamanho ótimo de parcela para avaliar a massa de matéria fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis* Roth.). Foram conduzidos 15 ensaios de uniformidade com sorgo e crotalária spectabilis, em cultivo solteiro e em consórcio. Foi avaliada a massa de matéria fresca em 540 unidades experimentais básicas (UEB) de 1 m x 1 m (36 UEB por ensaio). Foi determinado o tamanho ótimo de parcela por meio dos métodos da curvatura máxima modificado e do modelo linear de resposta com platô. Maior tamanho ótimo de parcela e, conseqüentemente, maior precisão experimental é obtido pelo modelo linear de resposta com platô em comparação ao método da curvatura máxima modificado. O tamanho ótimo de parcela para avaliar a massa de matéria fresca de sorgo e crotalária spectabilis, em cultivo solteiro e em consórcio é 8,23 m².

Palavras-chave: Ensaio de uniformidade. Curvatura máxima modificado. Modelo linear de resposta com platô.

Abstract: This study aimed to compare two methods of estimating the optimum plot size to evaluate the fresh matter of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and showy rattlebox (*Crotalaria spectabilis* Roth.). Fifteen uniformity trials were carried out sorghum and showy rattlebox cultivated alone and intercropped. Fresh matter was evaluated in 540 basic experimental units (BEU) of 1 m × 1 m (36 BEU per trial). The optimum plot size was determined using the methods modified maximum curvature and linear response with plateau model. Largest optimum plot size and, consequently, greater experimental precision is obtained by the linear response with plateau model compared to modified maximum curvature method. The optimum plot size to evaluate the fresh matter of sorghum and showy rattlebox cultivated alone or intercropped is 8.23 m².

Keywords: Uniformity trial. Modified maximum curvature. Linear response with plateau model.

1 Introdução

Pesquisas com espécies de cobertura do solo, tais como o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e a crotalária *spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth.) têm sido desenvolvidas visando quantificar a produção de fitomassa (Pereira *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2020) e avaliar a interferência dessas espécies na produtividade de grãos de milho e feijão (Torres, Cunha, Pereira, & Vieira, 2014) e nos atributos químicos e físicos do solo (Passos *et al.*, 2017).

É importante que as pesquisas com essas espécies de cobertura do solo, em cultivo solteiro ou em consórcio, sejam realizadas a partir de um planejamento experimental adequado. A definição do tamanho ótimo de parcela é um dos aspectos a serem considerados com a finalidade de minimizar o erro experimental e, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade dos resultados. Nas pesquisas realizadas por Pereira *et al.* (2012), Torres *et al.* (2014) e Passos *et al.* (2017) os tratamentos foram avaliados em parcelas de 37,5; 63; e 50 m², respectivamente, e não foram mencionados os critérios utilizados na definição do tamanho de parcela.

O tamanho de parcela tem sido investigado, por distintos métodos, em cultivos solteiros de sorgo granífero (Lopes *et al.*, 2005) e crotalária *juncea* (*Crotalaria juncea* L.) (Facco *et al.*, 2017; 2018) e, em cultivos solteiros e em consórcio de milheto (*Pennisetum glaucum* L.) + crotalária *ochroleuca* (*Crotalaria ochroleuca*) + crotalária *spectabilis* (*C. spectabilis* Roth.) (Cargnelutti Filho, Loregian, Bubans, Somavilla, & Costa, 2021a), milheto (*P. glaucum* L.) + crotalária *ochroleuca* (*C. ochroleuca*) (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021c) e milheto (*P. glaucum* L.) + crotalária *spectabilis* (*C. spectabilis* Roth.) (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021d).

Estudos comparativos envolvendo os métodos da curvatura máxima modificado (CMM) (Meier & Lessman, 1971) e do modelo linear de resposta com platô (LRP) (Paranaíba, Ferreira, & Morais, 2009a) têm sido realizados com as culturas de arroz (Paranaíba *et al.*, 2009a), trigo e mandioca (Paranaíba, Morais, & Ferreira, 2009b), mamoeiro (Brito, Faria, Morais, Souza, & Dantas, 2012), rabanete (Silva, Campos, Morais, Cogo, & Zambon, 2012), abacaxizeiro (Leonardo, Pereira, Silva, Araújo, & Mendonça, 2014), batata doce (González, Morais, Mendoza, Bortolini, & Liska, 2018), palma forrageira (Guimarães, Donato, Aspiazú, Azevedo, & Carvalho, 2019), milheto + crotalária *ochroleuca* + crotalária *spectabilis* (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021a) e trigo mourisco (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021b), evidenciando resultados distintos entre os métodos.

A partir de ensaios de uniformidade (experimentos em branco) é possível planejar distintos tamanhos de parcela (X) pelo agrupamento de unidades experimentais básicas (UEB) adjacentes e estimar o coeficiente de variação (CV_(x)) entre as UEB. Os valores de CV_(x) e X podem ser relacionados por meio dos métodos CMM e LRP para a

determinação do tamanho ótimo de parcela (X_o) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela (CV_{X_o}).

O objetivo deste trabalho foi comparar dois métodos de estimação do tamanho ótimo de parcela para avaliar a massa de matéria fresca de sorgo (*S. bicolor* (L.) Moench) e crotalária spectabilis (*C. spectabilis* Roth.), em cultivo solteiro e em consórcio.

2 Materiais e Métodos

Quinze ensaios de uniformidade com sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar Nutribem (S) e crotalária spectabilis (*C. spectabilis* Roth.) (CS), foram conduzidos 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, conforme classificação de Köppen-Geiger, com verões quentes e sem estação seca (Alvares, Stape, Sentelhas, Gonçalves, & Sparovek, 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: 5,3; Ca: 4,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Mg: 1,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Al: 0,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; H+Al: 6,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; índice SMP: 5,6; matéria orgânica: 2,1%; teor de argila: 24,0%; S: 19,1 mg dm^{-3} ; P (Mehlich): 45,4 mg dm^{-3} ; K: 0,655 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; $\text{CTC}_{\text{pH}7}$: 13,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Cu: 1,73 mg dm^{-3} ; Zn: 0,74 mg dm^{-3} ; e B: 0,42 mg dm^{-3} .

Foram conduzidos três ensaios de uniformidade (repetições) de cada uma das cinco seguintes composições, com as respectivas densidades de semeadura entre parênteses: 100% de S (15 kg ha^{-1}); 75% de S (11,25 kg ha^{-1}) + 25% de CS (5,625 kg ha^{-1}); 50% de S (7,5 kg ha^{-1}) + 50% de CS (11,25 kg ha^{-1}); 25% de S (3,75 kg ha^{-1}) + 75% de CS (16,875 kg ha^{-1}); e 100% de CS (22,5 kg ha^{-1}). Em 28 de outubro de 2020 foram realizadas a adubação de base com 35 kg ha^{-1} de N, 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 135 kg ha^{-1} de K_2O e a semeadura, a lanço.

Em cada ensaio de uniformidade, a área central de tamanho 6 m x 6 m (36 m^2) foi dividida em 36 unidades experimentais básicas (UEB) de 1 m x 1 m (1 m^2), formando uma matriz de seis linhas e seis colunas. Em 15 de janeiro de 2021, em cada UEB, foram cortadas as plantas, junto à superfície do solo, e foi aferida a massa de matéria fresca (MF, em g m^{-2}), em balança digital (exatidão: 1 g). Nesse período as plantas de sorgo estavam no florescimento (período reprodutivo) enquanto as plantas de crotalária spectabilis estavam no período vegetativo. Devido à diferença de ciclo destas culturas e a rápida senescência foliar das plantas de sorgo, optou-se pela colheita das plantas neste momento. A aferição de massa foi realizada imediatamente após o corte, a fim de minimizar as possíveis variações de umidade das plantas.

Para cada ensaio de uniformidade, a partir dos dados de MF das 36 UEB, foram planejadas, parcelas com X_L UEB adjacentes na linha e X_C UEB adjacentes na coluna. As parcelas com distintos tamanhos e/ou formas foram planejadas como sendo ($X=X_L \times X_C$), ou seja, (1x1), (1x2), (1x3), (1x6), (2x1), (2x2), (2x3), (2x6), (3x1), (3x2), (3x3), (3x6), (6x1), (6x2) e (6x3). 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 ($n=36/X$) e $CV_{(X)}$ - coeficiente de variação (em %) entre as parcelas de X UEB de tamanho. Em cada um dos 15 ensaios, foi determinado o tamanho ótimo de parcela (X_o) por meio dos métodos da curvatura máxima modificado (CMM) (Meier & Lessman, 1971) e do modelo linear de resposta com platô (LRP) (Paranaíba *et al.*, 2009a). Nesses dois métodos são ajustados modelos da variável dependente ($CV_{(X)}$, em %) em função da variável independente (X , em UEB).

No método da curvatura máxima modificado (CMM) (Meier & Lessman, 1971), foram estimados os parâmetros a e b e o coeficiente de determinação (R^2) do modelo $CV_{(X)} = a/X^b + \varepsilon$. Esses parâmetros foram estimados mediante a transformação logarítmica e linearização de $CV_{(X)} = a/X^b + \varepsilon$, ou seja, $\log CV_{(X)} = \log a - b \log X + \varepsilon$, cuja estimação foi ponderada pelos graus de liberdade ($GL=n-1$), associados a cada tamanho de parcela. O ponto correspondente ao tamanho ótimo de parcela (X_o) foi determinado

algebricamente por meio da expressão: $Xo = [a^2b^2(2b + 1)/(b + 2)]^{1/(2b+2)}$. O coeficiente de variação correspondente ao tamanho ótimo de parcela (CV_{Xo}) foi determinado por $CV_{Xo} = a/Xo^b$.

Para o modelo linear de resposta com platô (LRP) (Paranaíba *et al.*, 2009a), foram ajustadas duas retas segmentadas e estimados os parâmetros a , b e p e coeficiente de determinação (R^2). A primeira reta ($CV_{(X)} = a + bX + \varepsilon$) é ajustada até o ponto correspondente ao tamanho ótimo de parcela (Xo), com coeficiente angular (b) não nulo. A segunda reta ($CV_{(X)} = p + \varepsilon$) inicia a partir de Xo e possui o coeficiente angular nulo, ou seja, é uma reta paralela à abscissa, em que $p = \text{platô}$, ou seja, p corresponde ao CV_{Xo} . O modelo LRP foi seguinte: $CV_{(X)} = \begin{cases} a + bX + \varepsilon & \text{se } X \leq Xo \\ p + \varepsilon & \text{se } X > Xo \end{cases}$. No modelo LRP o tamanho ótimo de parcela foi determinado por $Xo = (p - a)/b$ e o coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela por $CV_{Xo} = a + bXo$. No modelo LRP o ponto de união entre os dois segmentos corresponde ao Xo na abscissa e CV_{Xo} na ordenada. Nos dois modelos (CMM e LRP) o ε é o resíduo ou erro aleatório do modelo.

Portanto, para cada um dos três ensaios de uniformidade (repetições), de cada uma das cinco composições, foram obtidas a massa de matéria fresca do ensaio (MF, g m^{-2}), o coeficiente de variação do ensaio (CV, em %) e as estimativas do coeficiente de determinação (R^2), do tamanho ótimo de parcela (Xo) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela (CV_{Xo} , em %), em relação aos métodos CMM e LRP. A fim de comparar as cinco composições, esses dados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott Knott via *bootstrap* com 10.000 reamostragens, a 5% de significância. As comparações das médias das estimativas do R^2 , Xo e CV_{Xo} entre os métodos (CMM *versus* LRP), dentro da cada composição ($n = 3$ ensaios de uniformidade) e no geral, ou seja, independentemente da composição ($n = 15$ ensaios de uniformidade), foram realizadas por meio do teste t de *Student* (unilateral), para amostras dependentes, a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel® e dos softwares R (R Development Core Team, 2021) e Sisvar (Ferreira, 2019).

3 Resultados e Discussão

Nos 15 ensaios de uniformidade, formados por composições de densidades de semeadura de sorgo (*S. bicolor* (L.) Moench) cultivar Nutribem (S) e crotalária *spectabilis* (*C. spectabilis* Roth.) (CS), a massa de matéria fresca (MF) oscilou entre 2174 e 4016 g m^{-2} , ou seja, 21,74 e 40,16 Mg ha^{-1} , respectivamente (Tabela 1). As médias de MF, dos três ensaios de cada composição foram 3158; 3690; 3353; 3196; e 2271 g m^{-2} , para as composições de 100% S, 75% S + 25% CS, 50% S + 50% CS, 25% S + 75% CS e 100% CS, respectivamente. Foram formados dois grupos de médias pelo teste de Scott Knott via *bootstrap*, a 5% de significância. O grupo com maior produção de MF foi formado pelas composições de cultivo solteiro de sorgo e pelos consórcios das duas culturas. Já o grupo com menor produção de MF foi formado pela crotalária *spectabilis* em cultivo solteiro. Para as culturas de sorgo e crotalária *spectabilis*, foram obtidas, respectivamente, 31,9 e 16,5 Mg ha^{-1} por Torres *et al.* (2014), 25,74 e 33,9 Mg ha^{-1} por Passos *et al.* (2017) e 38,00 e 17,05 Mg ha^{-1} de MF por Santos *et al.* (2020). Ainda, Pereira *et al.* (2012) obtiveram 39,10 Mg ha^{-1} de MF de crotalária *spectabilis*. Embora essas pesquisas tenham sido conduzidas em distintas condições ambientais, manejos e momentos de avaliação, percebem-se similaridades com os resultados desse estudo.

Tabela 1. Massa de matéria fresca (MF, em g m⁻²), coeficiente de variação (CV, em %), estimativas dos parâmetros *a* e *b*, do coeficiente de determinação (R²), do tamanho ótimo de parcela (X_o, em m²) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela (CV_{x_o}, em %), em relação aos métodos da curvatura máxima modificado (CMM) e do modelo linear de resposta com platô (LRP), em três ensaios de uniformidade (repetições) de cada uma das cinco composições de densidades de semeadura de sorgo (S) e crotalária spectabilis (CS). Valor do teste F e respectivo valor-p da análise de variância via *bootstrap* com 10.000 reamostragens.

Table 1. Fresh matter (MF, in g m⁻²), coefficient of variation (CV, in %), estimates of parameters *a* and *b*, coefficient of determination (R²), optimum plot size (X_o, in m²) and coefficient of variation in the optimum plot size (CV_{x_o}, in %), in relation to the modified maximum curvature (CMM) and linear response with plateau model (LRP), in three uniformity trials (repetitions) of each of the five seeding density compositions of sorghum (S) and showy rattlebox (CS). Value of the F test and respective p-value of the analysis of variance via *bootstrap* with 10,000 resamplings.

Composição	Ensaio ⁽¹⁾	MF ⁽²⁾	CV	CMM					LRP				
				<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	X _o	CV _{x_o}	<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	X _o	CV _{x_o}
100% S	1	3044	18,08	19,473	0,457	0,78	4,11	10,21	18,840	-1,777	0,79	7,38	5,72
100% S	2	3321	19,13	18,669	0,468	0,82	4,03	9,72	17,343	-1,589	0,74	7,23	5,85
100% S	3	3109	20,18	20,301	0,302	0,83	3,51	13,90	19,374	-1,272	0,70	7,90	9,32
	Média	3158 a	19,13 b			0,81	3,88 c	11,28			0,75	7,51 b	6,96
75% S + 25% CS	1	3497	22,47	23,572	0,391	0,52	4,44	13,17	22,092	-1,622	0,50	7,96	9,18
75% S + 25% CS	2	3616	18,54	20,051	0,452	0,57	4,18	10,50	17,531	-1,466	0,67	8,27	5,41
75% S + 25% CS	3	3959	21,99	22,855	0,434	0,89	4,52	11,87	21,149	-1,767	0,82	8,27	6,54
	Média	3690 a	21,00 b			0,66	4,38 b	11,85			0,67	8,17 a	7,04
50% S + 50% CS	1	3077	27,26	28,095	0,303	0,44	4,51	17,80	27,180	-1,722	0,34	7,32	14,58
50% S + 50% CS	2	2966	23,50	22,863	0,321	0,74	3,97	14,69	21,651	-1,489	0,50	7,06	11,13
50% S + 50% CS	3	4016	21,79	22,698	0,629	0,95	4,88	8,38	21,038	-2,499	0,91	6,45	4,93
	Média	3353 a	24,18 b			0,71	4,45 b	13,63			0,58	6,94 c	10,22
25% S + 75% CS	1	2604	37,28	39,132	0,557	0,88	6,81	13,45	35,219	-3,437	0,85	7,79	8,43
25% S + 75% CS	2	3324	29,78	29,680	0,352	0,74	5,03	16,81	27,600	-1,880	0,66	8,40	11,80
25% S + 75% CS	3	3661	26,25	29,904	0,576	0,63	5,75	10,91	26,599	-2,434	0,71	8,51	5,89
	Média	3196 a	31,10 a			0,75	5,86 a	13,72			0,74	8,23 a	8,71
100% CS	1	2174	31,09	29,986	0,322	0,58	4,88	18,00	28,910	-2,049	0,47	6,81	14,95
100% CS	2	2183	26,61	27,034	0,390	0,93	4,90	14,55	25,550	-2,081	0,86	7,56	9,81
100% CS	3	2455	30,55	31,197	0,390	0,92	5,43	16,14	29,779	-2,481	0,86	7,48	11,22
	Média	2271 b	29,42 a			0,81	5,07 a	16,23			0,73	7,29 b	11,99
Média geral		3134	24,97			0,75	4,73	13,34			0,69	7,63	8,98
F		5,701	7,897			0,397	6,967	1,352			0,421	7,001	1,455
Valor-p ⁽³⁾		0,015	0,000			0,805	0,006	0,316			0,793	0,008	0,285

⁽¹⁾ Cada ensaio de uniformidade de tamanho 6 m x 6 m (36 m²) foi dividido em 36 UEBs de 1 m x 1 m (1 m²), formando uma matriz de seis linhas e seis colunas. ⁽²⁾ As médias não seguidas por mesma letra na coluna (comparação de médias das composições) diferem a 5% de significância pelo teste de Scott Knott via *bootstrap* com 10.000 reamostragens. ⁽³⁾ Valor-p > 0,05 significa que médias das composições não diferem.

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

⁽¹⁾ Each uniformity trial of size 6 m x 6 m (36 m²) was divided into 36 UEBs of 1 m x 1 m (1 m²), forming a matrix of six rows and six columns. ⁽²⁾ The averages not followed by the same letter in the column (comparison of averages of the compositions) differ at 5% of significance by the Scott Knott test via *bootstrap* with 10,000 resamplings. ⁽³⁾ P-value > 0.05 signifies that the averages of the compositions do not differ. **Source:** Prepared by the authors (2021).

O coeficiente de variação (CV) da MF, obtido entre as 36 UEB de cada um dos 15 ensaios de uniformidade, oscilou entre 18,08 e 37,28%, com média de 24,97% (Tabela 1). As médias do CV, dos três ensaios de cada composição foram 19,13; 21,00; 24,18; 31,10; e 29,42%, para as composições de 100% S, 75% S + 25% CS, 50% S + 50% CS, 25% S + 75% CS e 100% CS, respectivamente. Foram formados dois grupos de médias pelo teste de Scott Knott via *bootstrap*, a 5% de significância. O grupo com maior CV foi formado pelas composições com maior percentagem de crotalária spectabilis, ou seja, nas composições com 75% e 100% de CS. Já o grupo com menor CV foi formado pelas

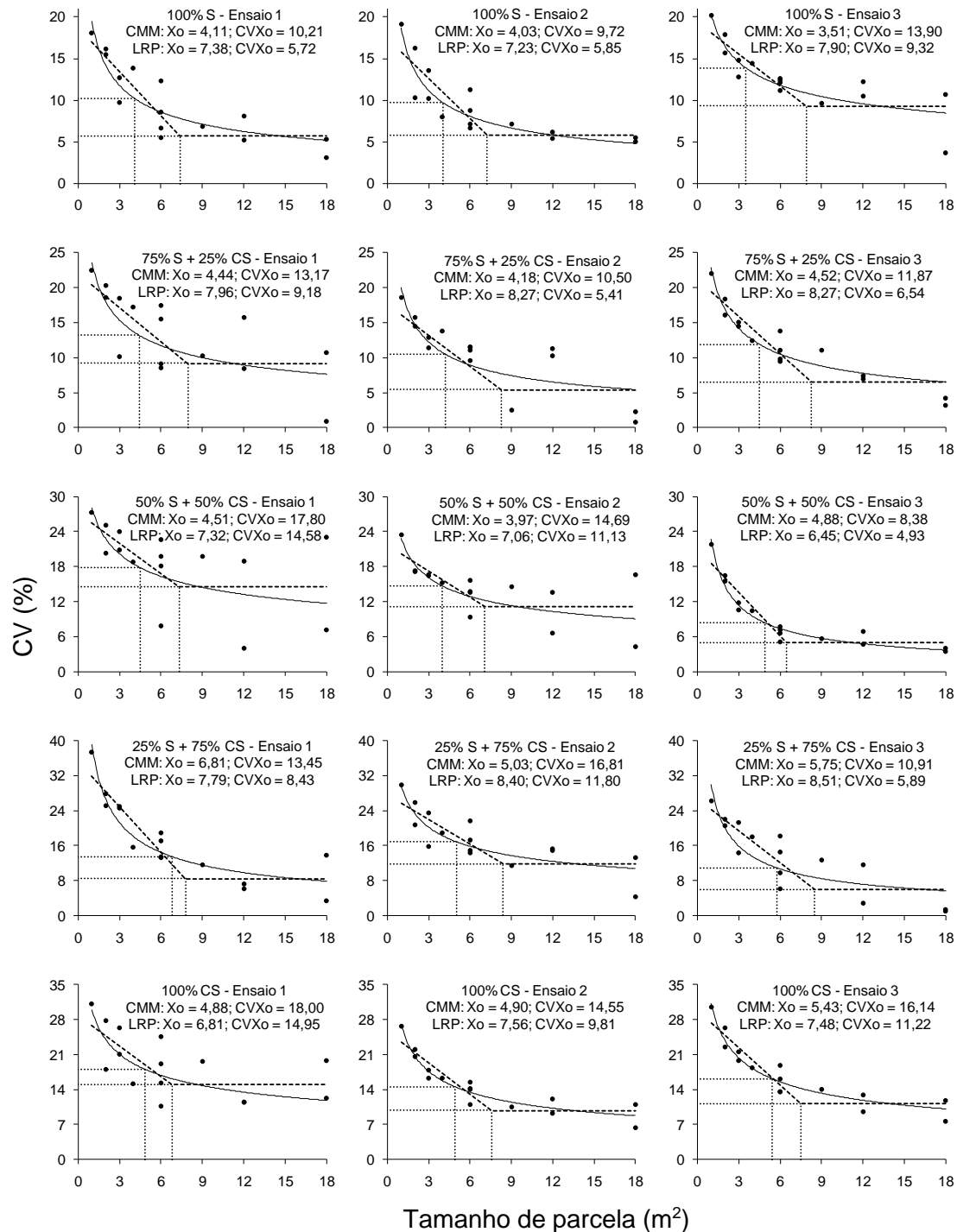
composições com 50%, 75% e 100% de sorgo. Essas diferenças sugerem que experimentos com sorgo e *crotalaria spectabilis*, em cultivo solteiro ou em consórcio, o tamanho de parcela seja distinto. Nos experimentos com sorgo, *crotalaria spectabilis* e outras espécies, foram obtidos CVs de 39,78% (Pereira *et al.*, 2012); 12,46% (Torres *et al.*, 2014); 37,73% (Passos *et al.*, 2017); e 16,33% (Santos *et al.*, 2020), portanto similares aos obtidos nesses 15 ensaios de uniformidade.

Nos 15 ensaios de uniformidade, houve decréscimo do coeficiente de variação [$CV_{(x)}$], com o aumento do tamanho de parcela planejado (X), tendendo a estabilização (Figura 1). Assim, pode-se inferir que há melhoria da precisão experimental (diminuição de $CV_{(x)}$), com o aumento do tamanho de parcela, até determinado tamanho de parcela. Portanto, embora seja possível avaliar a massa de matéria fresca (MF) em parcelas de 1 m², como realizado nesse estudo, é importante avaliar a precisão em tamanhos maiores, ou seja, é fundamental planejar o experimento com tamanho ótimo de parcela para garantir discriminação adequada dos tratamentos em avaliação e confiabilidade nas inferências. Tamanhos menores, como por exemplo, de 1 m² podem não representar o desenvolvimento das plantas. Por outro lado, tamanhos superiores a esse possibilitariam avaliar as plantas na área central da parcela (área útil) e desprezar as bordaduras, amenizando a interferência das plantas das parcelas adjacentes, ou seja, da competição interparcelar.

Para os métodos da curvatura máxima modificado (CMM) e do modelo linear de resposta com platô (LRP), as médias do coeficiente de determinação (R^2) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela (CV_{x_0}), não diferiram entre as cinco composições de densidades de semeadura de sorgo e *crotalaria spectabilis* (Tabelas 1 e 2). No entanto, em relação ao tamanho ótimo de parcela (X_0), determinado pelo CMM e pelo LRP houve formação de três grupos. Com base nessas diferenças, o uso do maior tamanho de parcela é adequado para o planejamento experimental com essas culturas em cultivo solteiro ou em consórcio.

Figura 1. Representação do tamanho ótimo de parcela (X_o , em m^2) e do coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela (CV_{X_o} , em %), obtidos pelos métodos da curvatura máxima modificado (CMM) e do modelo linear de resposta com platô (LRP), em três ensaios de uniformidade (repetições) de cada uma das cinco composições de densidades de semeadura de sorgo (S) e crotalaria spectabilis (CS).

Figure 1. Representation of the optimum plot size (X_o , in m^2) and the coefficient of variation in the optimum plot size (CV_{X_o} , in %), obtained by the modified maximum curvature (CMM) and linear response with plateau model (LRP) methods, in three uniformity trials (repetitions) of each of the five seeding density compositions of sorghum (S) and showy rattlebox (CS).



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).
Source: Prepared by the authors (2021).

Tabela 2. Médias das estimativas 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) e do modelo linear de resposta com platô (LRP), obtidas a partir da massa de matéria fresca em três ensaios de uniformidade (repetições) de cada uma das cinco composições de densidades de semeadura de sorgo (S) e crotalária spectabilis (CS).

Table 2. Averages of the estimates of the coefficient of determination (R^2), of the optimum plot size (X_o , in m^2) and of the coefficient of variation in the optimum plot size (CV_{X_o} , in %), in relation to the modified maximum curvature (CMM) and linear response with plateau model (LRP) methods, obtained from the fresh matter in three uniformity trials (repetitions) of each of the five seeding density compositions of sorghum (S) and showy rattlebox (CS).

Composição	CMM	LRP
Coeficiente de determinação (R^2)		
100% S	0,81 A a	0,75 A a
75% S + 25% CS	0,66 A a	0,67 A a
50% S + 50% CS	0,71 A a	0,58 A a
25% S + 75% CS	0,75 A a	0,74 A a
100% CS	0,81 A a	0,73 A b
Geral	0,75 a	0,69 b
Tamanho ótimo de parcela (X_o , em m^2)		
100% S	3,88 C b	7,51 B a
75% S + 25% CS	4,38 B b	8,17 A a
50% S + 50% CS	4,45 B b	6,94 C a
25% S + 75% CS	5,86 A b	8,23 A a
100% CS	5,07 A b	7,29 B a
Geral	4,73 b	7,63 a
Coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela (CV_{X_o} , em %)		
100% S	11,28 A a	6,96 A b
75% S + 25% CS	11,85 A a	7,04 A b
50% S + 50% CS	13,63 A a	10,22 A b
25% S + 75% CS	13,72 A a	8,71 A b
100% CS	16,23 A a	11,99 A b
Geral	13,34 a	8,98 b

* Médias de R^2 , X_o e CV_{X_o} , não seguidas por mesma letra maiúscula na coluna (comparação de composições dentro de cada método) diferem a 5% de significância pelo teste de Scott Knott via *bootstrap* com 10.000 reamostragens. Médias não seguidas por mesma letra minúscula na linha (comparação de métodos dentro de cada composição, $n = 3$ ensaios de uniformidade; e no geral, ou seja, independentemente de composição, $n = 15$ ensaios de uniformidade) diferem pelo teste t de *Student* (unilateral), para amostras dependentes, a 5% de significância. **Fonte:** Elaborada pelos autores (2021).

* Averages of R^2 , X_o and CV_{X_o} , not followed by the same uppercase letter in the column (comparison of compositions within each method) differ at 5% of significance by the Scott Knott test via *bootstrap* with 10,000 resamplings. Averages not followed by the same lowercase letter on the row (comparison of methods within each composition, $n = 3$ uniformity trials; and overall, i.e., regardless of composition, $n = 15$ uniformity trials) differ by *Student's t* test (one-sided), for dependent samples, at 5% significance. **Source:** Prepared by the authors (2021).

As médias do coeficiente de determinação (R^2) não diferiram entre as cinco composições e oscilaram entre 0,66 e 0,81; e 0,58 e 0,75, para os métodos CMM e LRP, respectivamente (Tabela 2). Entre os métodos CMM e LRP, dentro de cada composição, apenas no cultivo solteiro de crotalária spectabilis, a média de R^2 do CMM (0,81) foi superior ao LRP (0,73). Porém, na comparação dos métodos, independentemente de composição, o R^2 do CMM (0,75) foi superior ao R^2 do LRP (0,69). Maiores valores de R^2 , indicam melhor ajuste dos modelos.

As médias do tamanho ótimo de parcela (X_o) diferiram entre as cinco composições. Em todas as composições os valores de X_o determinados pelo método LRP ($6,94 \leq X_o \leq 8,23 \text{ m}^2$) foram superiores aos X_o determinados pelo método CMM ($3,88 \leq X_o \leq 5,86 \text{ m}^2$). Assim, pode-se inferir que o tamanho de parcela difere entre as composições e depende do método de estimação.

Os coeficientes de variação no tamanho ótimo de parcela (CV_{X_o} , em %) não diferiram entre as cinco composições e oscilaram entre 11,28 e 16,23%; e 6,96 e 11,99 %, para os métodos CMM e LRP, respectivamente (Tabela 2). Entre os métodos CMM e LRP, dentro de cada composição, os valores de CV_{X_o} do CMM foram superiores ao LRP. Independentemente da composição, o CV_{X_o} do CMM (13,34%) foi superior ao LRP (8,98%). Esses resultados indicam melhor precisão experimental com o uso dos tamanhos de parcela determinados pelo método LRP em comparação ao CMM, independentemente de composição.

Em todas as composições o maior tamanho de parcela (X_o), determinado pelo método LRP, resultou em maior precisão experimental, ou seja, em menor coeficiente de variação no tamanho ótimo de parcela (CV_{X_o} , em %). Assim, pode-se inferir que o maior X_o entre as cinco composições, determinado pelo método LRP, ou seja, $8,23 \text{ m}^2$ é o tamanho ótimo de parcela para avaliar a massa de matéria fresca de sorgo e crotalária *spectabilis*, em cultivo solteiro e em consórcio. Essa indicação de parcelas de $8,23 \text{ m}^2$ é sustentada pela viabilidade prática a campo e estabilização do coeficiente de variação a partir desse tamanho (Figura 1) e pode ser usada como referência para o planejamento de experimentos com sorgo e crotalária *spectabilis*, em cultivo solteiro ou em consórcio.

Esse tamanho de parcela é relativamente superior aos $3,2 \text{ m}^2$ necessários para avaliar a produtividade de grãos de sorgo granífero (Lopes *et al.*, 2005); aos $2,04 \text{ m}^2$ (Facco *et al.*, 2017) e $1,98 \text{ m}^2$ (Facco *et al.*, 2018) para avaliar a massa de matéria fresca de crotalária *juncea*; e aos $7,41 \text{ m}^2$ para avaliar a massa de matéria fresca de matéria fresca de milho, crotalária *ochroleuca* e crotalária *spectabilis*, em cultivo solteiro ou em consórcio (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021a). Por outro lado, é relativamente inferior aos 10 m^2 necessários para massa de matéria fresca de milho e crotalária *ochroleuca* (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021c) e de milho e crotalária *spectabilis* (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021d), em cultivo solteiro ou em consórcio. Adicionalmente esse tamanho de parcela é inferior aos $37,5$; 63 ; e 50 m^2 , utilizados por Pereira *et al.* (2012), Torres *et al.* (2014) e Passos *et al.* (2017), respectivamente, nas pesquisas com sorgo e crotalária *spectabilis*, juntamente com outras espécies de cobertura de solo.

Estimativas maiores de R^2 , menores de X_o e maiores de CV_{X_o} foram obtidas com o método MMC em comparação ao LRP, nas culturas de arroz (Paranaíba *et al.*, 2009a), trigo e mandioca (Paranaíba *et al.*, 2009b), mamoeiro (Brito *et al.*, 2012), rabanete (Silva *et al.*, 2012), abacaxizeiro (Leonardo *et al.*, 2014), batata doce (González *et al.*, 2018), palma forrageira (Guimarães *et al.*, 2019), milho + crotalária *ochroleuca* + crotalária *spectabilis* (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021a) e trigo mourisco (Cargnelutti Filho *et al.*, 2021b).

4 Conclusão

Maior tamanho ótimo de parcela e, conseqüentemente, maior precisão experimental é obtido pelo modelo linear de resposta com platô em comparação ao método da curvatura máxima modificado.

O tamanho ótimo de parcela para avaliar a massa de matéria fresca de sorgo e crotalária *spectabilis*, em cultivo solteiro e em consórcio é $8,23 \text{ m}^2$.

5 Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processos 304652/2017-2; 159611/2019-9; 146258/2019-3), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à

Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelas concessões de bolsas. Aos alunos bolsistas e voluntários pelo auxílio na coleta de dados.

6 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(6): 711-728. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Brito, M. C. M., Faria, G. A., Morais, A. R., Souza, E. M., & Dantas, J. L. L. (2012). Estimação do tamanho ótimo de parcela via regressão antitônica. *Revista Brasileira de Biometria*, 30(3): 353-366. Disponível em <http://jaquar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v30/v30_n3/A4_Marcio.pdf>. Acesso em: 28/09/2021.

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(2), 249-256. <https://dx.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: Ciências Agrárias*, 42(2): 501-516. <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n2p501>

Cargnelutti Filho, A., Neu, I. M. M., Loregian, M. V., Bubans, V. E., Somavilla, F. M., & Dumke, G. E. (2021c). Experimental dimensions and precision in trials with millet and slender leaf rattlebox. *Revista Ciência Agronômica*, 52(3): e20207434. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210045>

Cargnelutti Filho, A., Souza, J. M., Silveira, D. L., Costa, S. L., Osmari, B. F., & Osmari, L. F. (2021d). Experimental dimensions and precision in trials with millet and showy rattlebox. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 16(3): e8686. <https://doi.org/10.5039/agraria.v16i3a8686>

Facco, G., Cargnelutti Filho, A., Alves, B. M., Lavezo, A., Follmann, D. N., Bem, C. M.,... Wartha, C. A. (2017). Basic experimental unit and plot sizes with the method of maximum curvature of the coefficient of variation in sunn hemp. *African Journal of Agricultural Research*, 12(6): 415-423. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11814>

Facco, G., Cargnelutti Filho, A., Lavezo, A., Schabarum, D. E., Chaves, G. G., & Silveira, D. L. (2018). Basic experimental unit and plot sizes for fresh matter of sunn hemp. *Ciência Rural*, 48(5): e20170660. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170660>

Ferreira, D. F. (2019). Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, 37(4): 529-535. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

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 con batata dulce. *Agrociencia*, 22(2):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(14): 205-215. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n14p205>

Leonardo, F. A. P., Pereira, W. E., Silva, S. M., Araújo, R. C., & Mendonça, R. M. N. (2014). Tamanho ótimo da parcela experimental de abacaxizeiro 'Vitória'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(4): 909-916. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-396/13>

Lopes, S. J., Storck, L., Lúcio, A. D., Lorentz, L. H., Lovato, C., & Dias, V. O. (2005). Tamanho de parcela para produtividade de grãos de sorgo granífero em diferentes densidades de plantas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(6): 525-530. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600001>

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(5): 648-650. <https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100050013x>

Paranaíba, P. F., Ferreira, D. F., & Morais, A. R. (2009a). Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. *Revista Brasileira de Biometria*, 27(2): 255-268. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v27/v27_n2/Patricia.pdf>. Acesso em: 28/09/2021.

Paranaíba, P. F., Morais, A. R., & Ferreira, D. F. (2009b). Tamanho ótimo de parcelas experimentais: comparação de métodos em experimentos de trigo e mandioca. *Revista Brasileira de Biometria*, 27(1): 81-90. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v27/v27_n1/A6_Patricia.pdf>. Acesso em: 28/09/2021.

Passos, A. M. A., Aker, A. M., Costa, R. S. C., Santos, F. C., Leite, V. P. D., & Marcolan, A. L. (2017). Effect of cover crops on physico-chemical attributes of soil in a short-term experiment in the southwestern Amazon region. *African Journal of Agricultural Research*, 12(47): 3339-3347. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12800>

Pereira, G. A. M., Silva, D. V., Braga, R. R., Carvalho, F. P., Ferreira, E. A., & Santos, J. B. (2012). Fitomassa de adubos verdes e cobertura do solo na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. *Revista Agro@ambiente On-line*, 6(2): 110-116. <https://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v6i2.696>

R Development Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R.,... Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5a ed). Brasília: EMBRAPA. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003>>. Acesso em: 28/09/2021.

Santos, V. F., Silva, L. F., Araújo Neto, J. R., Silva, V. P., Rocha, A. T., & Santos, G. M. (2020). Produção de fitomassa por plantas de cobertura no Agreste Meridional de Pernambuco. *Ciência Agrícola*, 18(3): 31-35. <https://doi.org/10.28998/rca.v18i3.9449>

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(5): 624-629. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500007>

Torres, J. L. R., Cunha, M. A., Pereira, M. G., & Vieira, D. M. S. (2014). Cultivo de feijão e milho em sucessão a plantas de cobertura. *Revista Caatinga*, 27(4): 117-125. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3213>>. Acesso em: 28/09/2021.