

Utilização da agricultura de precisão na produção de sorgo no estado de Rondônia, Brasil

Uso de la agricultura de precisión en la producción de sorgo, estado de Rondonia, Brasil

Use of precision agriculture in sorghum production in the State of Rondonia, Brazil

**Anna Lúcia Cardoso Martins, Edmilson Frabiciack dos Passos, Maria Fernanda
Monteira da Silva Fonseca, Priscila Rificki, Jessé Alves Batista e Elaine Lima da
Fonseca**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia

Curso de Agronomia

Campus Colorado do Oeste

Rondônia, Brasil

cardosomartinsal@gmail.com; edmilson.fabiciack@gmail.com; arielydeoliveirasilva@gmail.com;

priscilarificki123@gmail.com; jesse.batista@ifro.edu.br; elaine.fonseca@ifro.edu.br

Martins: <https://orcid.org/0009-0008-3033-4956>

Passos: <https://orcid.org/0000-0001-7437-5030>

Silva: <https://orcid.org/0009-0006-9704-7877>

Rificki: <https://orcid.org/0009-0006-2548-6379>

Batista: <https://orcid.org/0000-0001-8532-5856>

Fonseca: <https://orcid.org/0000-0002-6872-8204>

Resumo

O cultivo de sorgo no Brasil pode ser beneficiado com o uso da agricultura da precisão em função do aumento da produtividade com menor custo de produção. Dessa forma, a presente análise tem como objetivo comparar a viabilidade econômica entre o método de taxa variável e taxa fixa (média), no manejo de fertilidade do solo em um sistema produtivo no cultivo da cultura do sorgo. A metodologia consistiu na amostragem regular da área com posterior análise química do solo. Os valores médios foram avaliados por meio da geoestatística e conclui-se que a calagem em taxa fixa pode ser superestimada em função da alta heterogeneidade dos valores estimados, contudo o uso de técnicas de agricultura de precisão ainda apresenta um valor considerável na região, dificultando o acesso dos produtores locais.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão; fertilidade; taxa variável

Resumen

El cultivo de sorgo en Brasil puede beneficiarse con el uso de la agricultura de precisión debido al aumento de la productividad con menor costo de producción. De esta forma, la presente evaluación tiene como objetivo comparar la viabilidad económica entre el método de tasa variable y tasa fija (media) en el manejo de la fertilidad del suelo en un sistema produtivo en el cultivo de sorgo. La metodología consistió en el muestreo regular del área con posterior análisis químico del suelo. Los valores medios fueron evaluados mediante geoestadística y se concluye que el encalado a tasa fija puede ser sobreestimado debido a la alta heterogeneidad de los valores estimados; sin embargo, el uso de técnicas de agricultura de precisión aún presenta un valor considerable en la región, dificultando el acceso de los productores locales.

PALABRAS CLAVE: agricultura de precisión; fertilidad; tasa variable.

Abstract

Sorghum cultivation in Brazil can benefit from the use of precision agriculture due to increased productivity with lower production costs. Therefore, the present analysis aims to compare the economic viability between the variable rate method and the fixed rate (average) method, in soil fertility management in a production system in the cultivation of sorghum crops. The methodology consisted of regular sampling of the area with subsequent chemical analysis of the soil. The average values were analyzed using geostatistics and it was concluded that fixed rate liming may be overestimated due to the high heterogeneity of the estimated values and that the use of precision agriculture techniques still has considerable value in the region, making access difficult for local producers.

KEYWORDS: precision agriculture; fertility; variable rate

1. Introdução

O cultivo de sorgo no Brasil pode ser significativamente beneficiado com o uso da agricultura de precisão em função do aumento da produtividade com menor custo de produção. No Brasil, o sorgo (*Sorghum bicolor* L.) começou a ser cultivado comercialmente a partir de 1960, com a finalidade de produção de grãos e silagem (Embrapa, 2015). Na atualidade, o consumo do grão são diversos tanto de forma direta (farinhas dos grãos) quanto indireta (indústria de rações e volumosos em pastoreios diretos ou silagens para animais), (Embrapa, 2022a).

A planta de sorgo possui a capacidade adaptativa a diferentes ambientes e produz sob condições desfavoráveis quando comparado à maioria dos outros cereais (Albuquerque *et al.*, 2011). Devido a sua tolerância à seca é considerado como um cultivo mais apto para regiões áridas com chuvas escassas. O Brasil produziu, em 2022, 2,85 milhões de toneladas de sorgo, aumento de 36,9% em relação ao período anterior, em uma área plantada de 1,03 milhões de hectares (Embrapa, 2022b). Em relação ao estado de Rondônia, a estimativa de área plantada com grãos para a safra 2023/2024 é de 957 mil hectares (Embrapa, 2023). Isso indica o potencial de crescimento da produção de grãos no estado.

A Agricultura de Precisão (AP) se insere nesse contexto como um modelo de produção capaz de aprimorar a produção e a produtividade da cultura, elevando os índices de desempenho da cultura no agronegócio brasileiro. A AP trata-se de um conjunto de sistema de gerenciamento agrícola essencial na tomada de decisões na condução das plantações, considerando a variabilidade espacial e temporal para maximizar o lucro e reduzir os impactos ambientais.

Esse sistema utiliza tecnologias avançadas em várias etapas do manejo com o objetivo de elevar a eficiência dos insumos agrícolas. Isso

inclui a análise de solo, fertilização, plantio e colheita, além de tecnologias de posicionamento georreferenciado, como o GPS e o sensoriamento remoto. Essas técnicas permitem estimar a produtividade da lavoura, avaliar o estado nutricional e vigor, determinar estresses hídricos e necessidade de irrigação, detectar ataques de pragas e doenças, identificar falhas de plantio, acompanhar os estádios de desenvolvimento da lavoura, entre outros (Silva, 2019).

No Brasil, a Agricultura de Precisão ainda está em evolução, mas sua ampliação tem o potencial de favorecer o agronegócio através da otimização dos investimentos de recursos na produção. Assim, com base no exposto, o trabalho teve como objetivo comparar a viabilidade econômica entre o método de taxa variável e taxa fixa (média), no manejo de fertilidade do solo no cultivo da cultura do sorgo no sul do estado de Rondônia.

2. Material e métodos

A pesquisa foi conduzida nos meses de maio e junho de 2022, no Instituto Federal de Rondônia, Campus Colorado do Oeste (FIGURA 1), localizada nas coordenadas geográficas de 13°07'55.48" de latitude Sul e 60°29'09.36" de longitude Oeste e altitude média de 392 metros, em área de 11 hectares.

De acordo com Fonseca y Silva Filho (2023), a precipitação média anual no município Colorado do Oeste é de 1.900 mm por ano, o clima predominante é o Tropical Chuvoso (Aw), segundo a classificação de Köppen. A temperatura média do ar durante o mês mais frio superior a 18 °C, com temperatura média anual do ar alta e uniforme, com variação da média entre 24 e 26°C. O período seco é caracterizado por três meses com precipitação inferior a 50mm (junho, julho e agosto), e amplitude térmica anual limitada e uma notável amplitude térmica diária.



FIGURA 1. Localização da área de pesquisa do Campus Colorado do Oeste

A área amostrada está condicionada sobre pastagem (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) parcialmente em estado de degradação. O solo é classificado como Argissolo vermelho (amarelo), com teor de argila de 35,20%.

A malha amostral foi definida com uso do aplicativo *Soil sampler* 2.0, na função de delimitar a área total e demarcar os pontos georreferenciados a fim de coletar as amostras de solo. Geoestatisticamente foram demarcados 20 pontos amostrais espaçados em 71x71m entre pontos. Para cada amostra principal foram coletadas mais 4 subamostras em sentidos opostos, com raio de 5 metros em relação a amostra principal. As amostras foram coletadas com um trado holandês, na camada de 0-20 cm, com o intuito de analisar os seguintes atributos químicos: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} trocável, acidez potencial (H+Al), potencial hidrogeniônico (pH), CTC e V%.

As amostras foram preparadas fora da área analítica com a finalidade de adequar aos procedimentos subsequentes e promover a homogeneização pelo método de terra fina seca ao ar (TFSA). A metodologia adotada para as análises laboratoriais foi descrita por Teixeira *et al.* (2017) para determinação dos valores de pH por eletrodo, Ca e Mg por emissão atômica (solução extratora $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$) e Al por titulação de cloreto de potássio.

Os dados geoestatísticos foram processados com o uso do programa *Gamma Design Software* (GS+, 2004) para análise da dependência espacial por meio do semivariograma e caracterização da variabilidade espacial pela técnica de Krigagem. O modelo de krigagem adotado foi o ordinário.

Os mapas de fertilidade e recomendação de aplicação de calcário foram realizados pelo sistema da Falkernmap (versão 2.3.0.3), conforme as equações descritas por Souza e Lobato (2004):

$$\text{Saturação por base} - \text{NC} = \frac{v1 - v2}{\text{PRNT}} \text{ CTC}$$

$$\text{Neutralização de alumínio} - \text{NC} = 2 \text{ Al}$$

Em que: a NC é a necessidade de calcário, V1 é a saturação por base atual do solo, V2 é a saturação por base desejada 60%, PRNT é o poder relativo de neutralização total do calcário 85%, CTC a capacidade de troca catiônica (acidez potencial + soma de bases), Al o teor de alumínio trocável + F é o fator de qualidade do calcário.

A necessidade de calcário foi estimada por dois métodos: um para aplicação em taxa fixa, empregando o valor médio da NC para toda a área; e a segunda pelo método de aplicação variável com base na análise dos parâmetros geoestatísticos.

3. Resultados e discussão

3.1 Análise geoestatística dos dados

Os parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas simples dos atributos analisados estão descritos na TABELA 1. gramas simples para todos os atributos

TABELA 1. Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas simples dos atributos (Ca, Mg, K, pH, V%, CTC), em um Argissolo vermelho (amarelo) na camada de 0-20

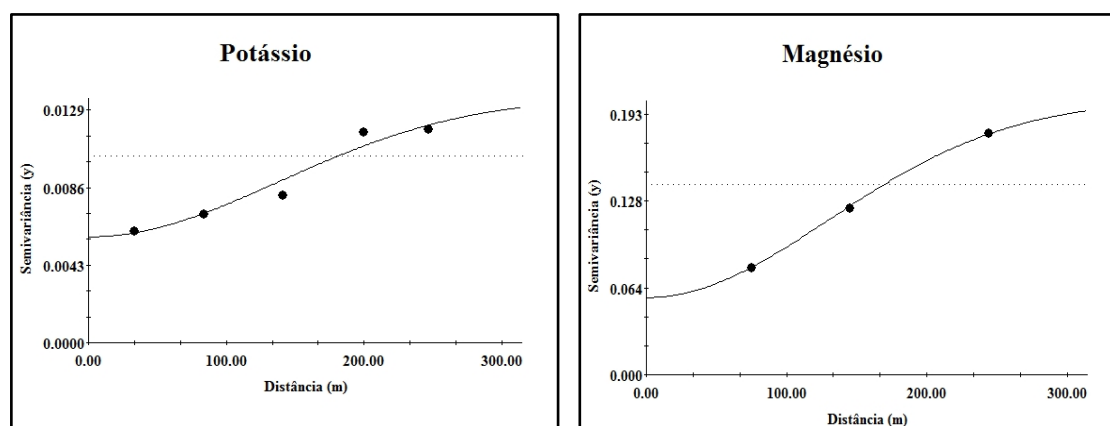
Variável	Parâmetros geoestatísticos					
	Erro	Coefficiente de Determinação (R^2)	Grau de Dependência Espacial	Alcance (A)	Modelo	Classe (ADE)
Cálcio	2.36804	0.999	0.851	534.16	Gaussiano	Forte
Magnésio	1.94106	1.000	0.719	319.04	Gaussiano	Moderado
Potássio	1.33706	0.950	0.570	338.44	Gaussiano	Moderado
pH	1.04503	0.593	0.823	202.10	Esférico	Forte
V%	0.0354	1.000	0.714	218.23	Gaussiano	Moderado
Cálcio	2.36804	0.999	0.851	534.16	Gaussiano	Forte

A avaliação da dependência espacial (ADE) seguiu os métodos e critérios determinados por Cambardella *et al.*, (1994), em que: **a)** ADE < 50% apresenta dependência espacial fraca; **b)** $50\% \leq ADE \leq 75\%$ é igual dependência espacial moderada; **c)** ADE > 75% dependência espacial forte.

Os semivariogramas ajustaram-se ao modelo Gaussiano, Exponencial e Esférico, uma vez que o alcance teve variações entre 90 a 540 metros (TABELA 1). O grau de dependência espacial em mais de 50% dos atributos analisados apresentou valores acima de 75%.

As variáveis Ca, pH e CTC apresentaram ADE superior a 75% demonstrando a forte dependência espacial. As demais variáveis analisadas (Mg, K e Saturação de base) apresentou ADE entre 50 e 75% com grau de dependência moderado. O coeficiente de determinação (r^2) dos parâmetros foram superiores a 60%.

A FIGURA 2 apresenta os semivariogramas para cada atributo. Os mapas caracterizam a variabilidade espacial, importantes na visualização e compreensão dos aspectos espaciais dos parâmetros avaliados.



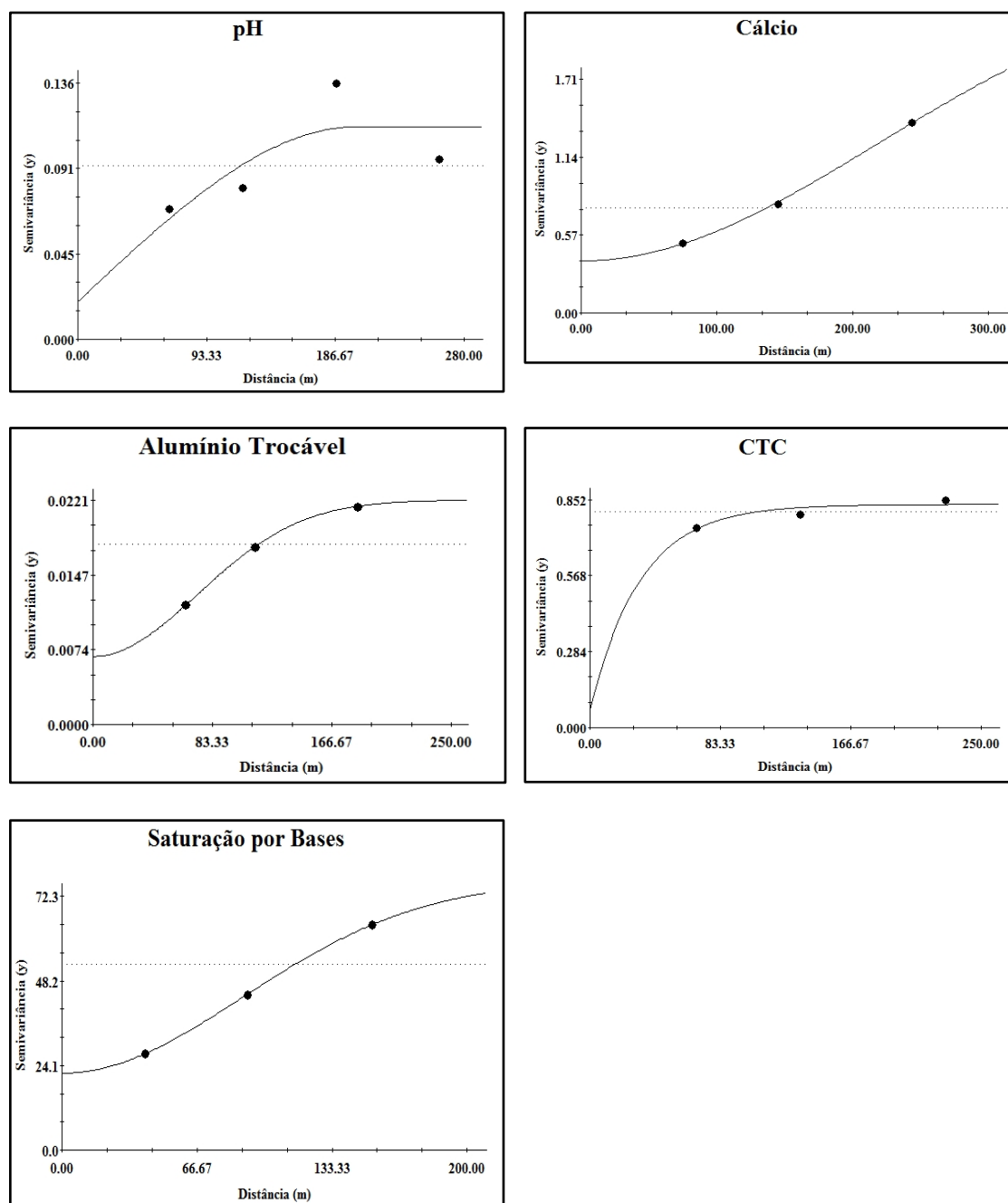


FIGURA 2. Semivariogramas dos atributos (Ca, Mg, K, pH, V%, CTC), em um Argissolo vermelho (amarelo) na camada de 0-20

Os mapas de krigagem para cada atributo na camada avaliada de 0-20cm demarcam as zonas de manejo do solo em relação ao uso e as doses recomendáveis.

A acidez potencial ($H+Al^{3+}$), (FIGURA 3) ficou conferida entre os intervalos de 2 - 4 $cmolc/dm^3$

representando 51,89% da área e entre 4 $cmolc/dm^3$ - 6 $cmolc/dm^3$. Representa 48,11% da área analisada em que a média da acidez potencial foi de 3,95 $cmolc/dm^3$. O ponto que apresentou valor máximo foi de 5,61 $cmolc/dm^3$ e o ponto mínimo foi de 2,20 $cmolc/dm^3$.



FIGURA 3. Os mapas de krigagem, Acidez potencial

Em relação ao teor de alumínio (Al^3) o intervalo entre 0 - 0.15 cmolc/dm³ representa 86,67% da área, apresentando o valor médio de 0,10 cmolc/dm³, em que o valor máximo foi de 0,50 cmolc/dm³ e o mínimo de 0,00 cmolc/dm³ de acordo com a representação da FIGURA 4.

FIGURA 4. Os mapas de krigagem, Alumínio (Al^3)

Os valores para cálcio na FIGURA 5, demonstra o que torna a zona de manejo forte e homogênea na aplicação. que 89,83% da área possui de 2-4 cmolc/dm³ ou seja, representa 9,99 ha do local amostrado

FIGURA 5. Os mapas de krigagem, Cálcio (Ca²)

Os teores de magnésio (Mg²⁺) conferidos entre 0 cmolc/dm³ - 0,5 cmolc/dm³ representam 59,69% da quantidade disponível, e os teores entre 0,5 cmolc/dm³ - 1 cmolc/dm³ representam 37,69% (FIGURA 6). Dentro das amostragens o valor máximo de Mg²⁺ foi de 1,18 cmolc/dm³, o valor mínimo de 0,07 cmolc/dm³ e com média de 0,51 cmolc/dm³.

FIGURA 6. Os mapas de krigagem, Magnésio (Mg²⁺)

Na FIGURA 7 é apresentado o mapa com os teores de potássio (K⁺) disponíveis no solo. O teor conferido entre 25-50 mg/dm³ representa 45,35%. O valor máximo de K⁺ encontrado foi de 139,69 mg/dm³ e o mínimo de 8,53 mg/dm³, sendo assim, o valor médio ficou conferido em 60,44 mg/dm³.



FIGURA 7. Os mapas de krigagem, Potássio (K+)

Na FIGURA 8 apresenta a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), em que 97,06% da área apresenta entre 6 - 12 cmolc/dm³, ou seja, o valor médio de 7,07 cmolc/dm³ e valor mínimo de 5,24 cmolc/dm³ e máximo de 7,97

cmolc/dm³, demonstrando CTC homogênea por toda a zona de manejo em questão, o que facilita a aplicação em relação a outros atributos avaliados.

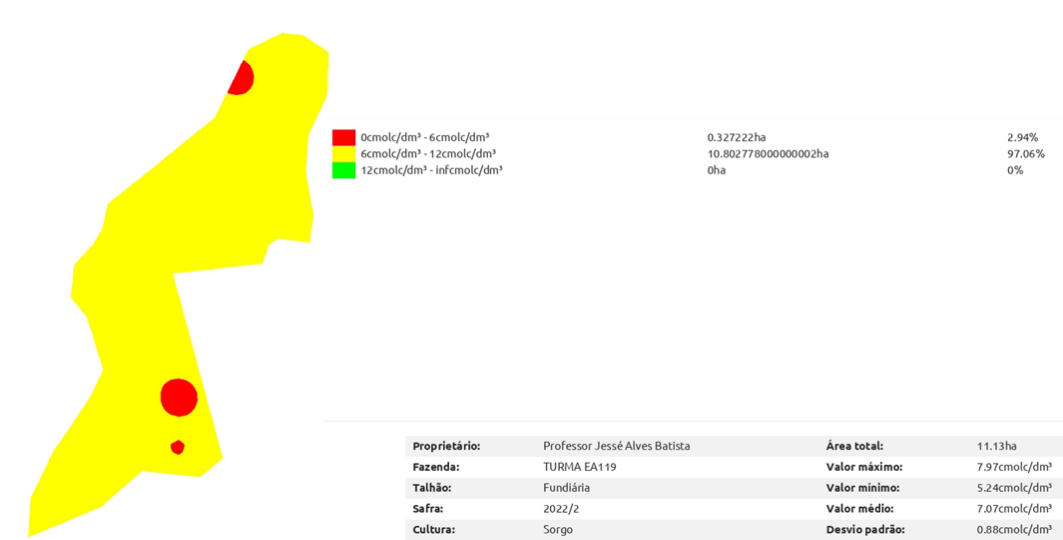


FIGURA 8. Os mapas de krigagem, Capacidade de Troca de Catiônica (CTC)

Em relação ao V%, 63,69% ou 7,08 ha de área possui valores de 40-50% de saturação por base, próximo do recomendado para a cultura do sorgo e 9,43% exibem acima de 60% em

zonas de manejo concentrar em um determinado perímetro, fracionado entre a área (FIGURA 9).

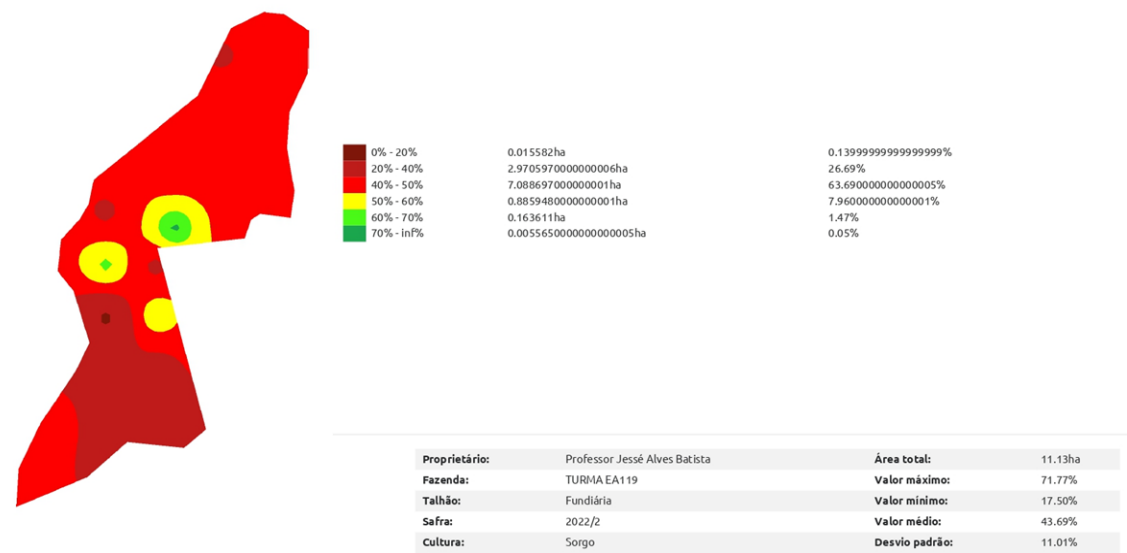


FIGURA 9. Saturação por bases (V%)

Com relação a soma de bases (SB), (FIGURA 10) os intervalos entre 3 cmolc/dm³ - 5 cmolc/dm³ representam 59,85% da área amostrada e 39,57% com os valores entre 1 cmolc/dm³ - 3 cmolc/dm³. O valor médio da saturação por base é de 3,11 cmolc/dm³ com valor mínimo de 1,19 cmolc/dm³ e valor máximo de 5,61 cmolc/dm³.

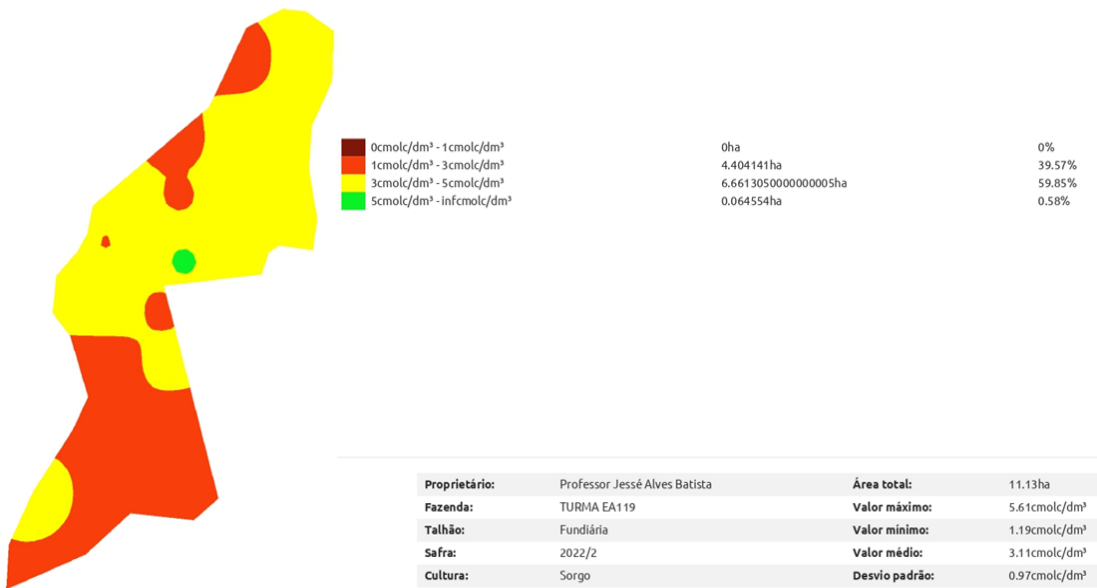


FIGURA 10. Os mapas de krigagem, Soma de Bases (SB)

3.2 Recomendação de calagem para a área

Análise dos dados de solos permitiu o cálculo da necessidade de calcário para os dois métodos analisados. Na aplicação em taxa fixa, os valores foram inferiores em relação a aplicação em taxa variável, em que a taxa de aplicação fixa será aproximadamente 11 (onze) toneladas de calcário por hectare, e na taxa variável será aplicada cerca de 15 T ha⁻¹ (TABELA 2).

A diferença de 4 toneladas a ser distribuída na respectiva área é potencialmente prejudicial

em algumas áreas, pois o excesso de calcário pode levar a supercalagem, que é tão prejudicial quanto a acidez elevada, devido a interferência na disponibilização de micronutrientes catiônicos (Mn, Zn, Fe e Cu) a níveis deficitários para a planta (Souza, 2018), assim como na disponibilização de ânions para a planta (SO₄²⁻, H₂PO₄⁻, Cl⁻ e NO₃⁻) que em quantidades excessivas, podem ser prejudiciais para as plantas e para o solo.

TABELA 2. Comparação dos métodos de aplicação

Necessidade de calagem	Métodos	Toneladas	Valor da tonelada (R\$)	Valor Total de calcário	Valor total da amostragem
	Taxa Fixa	11.330,00	350,00	3.968,50	240,00
	Taxa Variável	15.323,65	350,00	5.363,27	1.057,35

A aplicação em taxa variável envolve alguns fatores econômicos em relação a convencional, pois requer mais processos. A geração dos pontos georreferenciados apresenta custo maior por hectare. O sistema convencional, por sua vez, apresenta valores mais acessíveis para o produtor, sendo mais comumente empregado na região.

Observa-se que a área em questão os valores de amostragem estão na ordem de R\$1.057,35 para o sistema variável e R\$240,00

para o sistema em aplicação em taxa fixa (TABELA 2).

É preciso considerar ainda que a adoção de técnicas de aplicação com taxa variável depende do nível tecnológico disponível na propriedade e do quanto o proprietário estará disposto a investir. O custo da calagem para ambos os métodos estão descritos na TABELA 3, em que o valor total de aplicação no método taxa fixa ficou foi de R\$4.208,50 e na taxa variável R\$6.420,62.

TABELA 3. Análise dos valores de cada método de aplicação

Método de aplicação	Valor total da aplicação	Diferença entre métodos (R\$)
Taxa Fixa	R\$ 4.208,50	R\$ 2.212,12
Taxa Variável	R\$ 6.420,62	

4. Conclusão

Mediante todos os dados apresentados, semivariogramas criados e as informações interpoladas, conclui-se que a calagem em taxa fixa poderia ser subestimada ou superestimada,

em função da alta heterogeneidade dos valores de acidez potencial, alumínio, soma de bases, cálcio e magnésio.

O uso de técnicas de agricultura de precisão exigidos a fim de verificar a adoção desse ainda apresenta um valor considerável na modelo de produção é viável econômica no região, dificultando o acesso de grande parte Estado. dos produtores e que maiores estudos são

5. Referências citadas

- ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. V.; RODRIGUES, J. A. S. e R. S. BRANT. 2011. "Espaçamento entre fileiras e densidade de semeadura do sorgo forrageiro para a região norte de Minas Gerais". *Ciências Agrotecnologia* 35(3). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000300009>.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F. & A. E. KONOPKA. 1994. "Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils". *Soil Science Society American Journal*, Madison, 58(5): 1.501-1.511. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.
- EMBRAPA. 2015. *Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Embrapa. Brasília, DF, Brasil.
- EMBRAPA. 2023. *Produção de sorgo no Brasil sobe mais de 36% em apenas uma safra*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73811127/producao-de-sorgo-no-brasil-sobe-mais-de-36-em-apenas-uma-safra>. [Consulta: dezembro, 2023].
- EMBRAPA. 2022a. *Rondônia: Estimativa aponta 957 mil hectares de grãos na safra 2022/2023*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. [Consulta: dezembro, 2023].
- EMBRAPA. 2022b. *Cultivo do Sorgo*. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/748779/1/Sorgo-Ecofisiologia.pdf>. [Consulta: dezembro, 2023].
- FONSECA, E. L. & E. P. S. FILHO. 2023. "Predictive modeling applied to potential soil erosion risk mapping in the Western Amazon". *Mercator*, 22: e22010, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22010>.
- SILVA, G. B. P. 2019. *Agricultura de Precisão: conceitos básicos e aplicações práticas*. Disponível em: <https://institutoagro.com.br/agricultura-de-precisao/>. [Consulta: janeiro, 2019].
- SOUZA, G. B. de. 2018. "Impactos da calagem e da supercalagem na fertilidade do solo e disponibilidade de nutrientes". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42: e0170247.
- SOUZA, D. M. G. e E. LOBATO. 2004. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Embrapa Cerrados. Planaltina, DF, Brasil.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. e W. G. TEIXEIRA. 2017. *Manual de métodos de análise de solo*. (3. ed. rev. e ampl). Embrapa. Brasília, DF, Brasil.

Local e data de finalização do artigo:
Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil; maio, 2024