



INSTITUTO FEDERAL
Rondônia



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia

Campus Colorado do Oeste
Coordenação do Curso em Engenharia Agrônoma

FRANCIELE DA SILVA COSTA

**ANÁLISE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM TAXA VARIÁVEL
NA MANUTENÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO PARA O CULTIVO DE SOJA**

COLORADO DO OESTE
2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO/Reitoria

Telefone: (69) 2182-9601

Av. Lauro Sodré, nº 6500 - Aeroporto (junto ao prédio do CENSIPAM). CEP: 76803-260. Porto Velho/RO.

E-mail: reitoria@ifro.edu.br / Site: www.ifro.edu.br



FRANCIELE DA SILVA COSTA

**ANÁLISE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM TAXA VARIÁVEL
NA MANUTENÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO PARA O CULTIVO DE SOJA**

Documentário entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Colorado do Oeste, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Agrônoma, sob a orientação do professor Drº Jessé Alves Batista

COLORADO DO OESTE

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Costa, Franciele da Silva.

Análise econômica da aplicação de calcário em taxa variável na
manutenção da fertilidade do solo para o cultivo de soja / Franciele da
Silva Costa, Ray William Pereira Alves, Eduarda Cristina Ribas
Beckhauser, Colorado do Oeste-RO, 2025.

15 f. : il.

Orientador(a): Dr Jessé Alves Batista.

Coorientador(a): Ma Elaine Lima da Fonseca.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -
IFRO, Colorado do Oeste-RO, 2025.

1. Agricultura de precisão. 2. Gerenciamento produtivo. 3.
Potencial produtivo. 4. Variabilidade espacial. I. Alves, Ray William
Pereira. II. Batista, Jessé Alves (orient.). III. Fonseca, Elaine Lima da
(coorient.). IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Rondônia - IFRO. V. Título.

Análise econômica da aplicação de calcário em taxa variável na manutenção da fertilidade do solo para o cultivo de soja

Economic analysis of variable-rate lime application to maintain soil fertility for soybean cultivation

Análisis económico de la aplicación de cal a dosis variables para mantener la fertilidad del suelo en el cultivo de soja

DOI: 10.54033/cadpedv22n4-122

Originals received: 1/10/2025

Acceptance for publication: 2/3/2025

Ray William Pereira Alves

Bacharel em Engenharia Agrônômica
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil
E-mail: raycdo100@gmail.com

Franciele da Silva Costa

Graduanda em Agronomia
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil
E-mail: francieleifro@gmail.com

Eduarda Cristina Ribas Beckhauser

Graduanda em Engenharia Agrônômica
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil
E-mail: eduardacrb16@gmail.com

Jessé Alves Batista

Doutor em Agronomia
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil
E-mail: jesse.batista@ifro.edu.br

Elaine Lima da Fonseca

Doutora em Geografia
Instituição: Instituto Federal de Rondônia (IFRO)
Endereço: Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil
E-mail: elaine.fonseca@ifro.edu.br

RESUMO

O setor agrícola tem a missão de explorar racionalmente os recursos naturais e o máximo potencial produtivo das lavouras. Neste sentido, o produtor rural necessita conhecer as variações a respeito dos diversos fatores inerentes à cadeia produtiva. A compreensão da variabilidade espacial da fertilidade do solo tem-se apresentado como um recurso de notória relevância para o uso racional dos insumos agrícolas, como o calcário, visando a otimização da produção, através do manejo diferenciado de acordo com as peculiaridades da área. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica da aplicação de calcário em taxa variável em um sistema produtivo de alta tecnologia - cultura da soja. O trabalho foi conduzido em 2022 no Instituto Federal de Rondônia - *Campus Colorado do Oeste*, em uma área de 05 ha, estabelecendo grid amostral geoestatístico de 21 pontos, com um espaçamento de 52 x 52 metros, com amostras de solo realizadas na camada de 0-10 cm. Os dados dos atributos químicos aferidos foram submetidos à análise geoestatística, e, posteriormente, confeccionou-se os mapas de fertilidade e de aplicação de calcário. A aplicação em taxa variável apresentou redução na quantidade requerida de calcário, no entanto, em consequência do custo da mão-de-obra especializada, revelou-se R\$222,00 mais onerosa em comparação a aplicação em taxa fixa.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Gerenciamento Produtivo. Potencial Produtivo. Variabilidade Espacial.

ABSTRACT

The agricultural sector's mission is to rationally explore natural resources and maximize crop production potential. In this sense, rural producers need to know the variations regarding the various factors inherent to the production chain. Understanding the spatial variability of soil fertility has been presented as a resource of notable relevance for the rational use of agricultural inputs, such as limestone, aiming to optimize production, through differentiated management according to the peculiarities of the area. Therefore, the present work aims to evaluate the economic viability of applying lime at a variable rate in a high-tech production system - soybean cultivation. The work was conducted in 2022 at the Federal Institute of Rondônia - *Campus Colorado do Oeste*, in an area of 05 ha, establishing a geostatistical sampling grid of 21 points, with a spacing of 52 x 52 meters, with soil samples carried out in the 0 layer. -10 cm. The data on the measured chemical attributes were subjected to geostatistical analysis, and, subsequently, fertility and lime application maps were created. The variable rate application showed a reduction in the required quantity of limestone, however, as a result of the cost of specialized labor, it proved to be R\$ 222.00 more expensive compared to the fixed rate application.

Keywords: Precision Agriculture. Productive Management. Productive Potential. Spatial Variability.

RESUMEN

El sector agrícola tiene la misión de explotar racionalmente los recursos naturales y maximizar el potencial productivo de los cultivos. En este sentido, los productores rurales necesitan conocer las variaciones de los distintos factores inherentes a la cadena de producción. La comprensión de la variabilidad espacial de la fertilidad del suelo ha demostrado ser un recurso de notable importancia para el uso racional de los insumos agrícolas, como la piedra caliza, con vistas a optimizar la producción mediante una gestión diferenciada en función de las peculiaridades de la zona. El objetivo de este estudio es evaluar la viabilidad económica de la aplicación de caliza a dosis variables en un sistema de producción de alta tecnología: el cultivo de soja. El trabajo fue realizado en 2022 en el Instituto Federal de Rondônia - Campus Colorado do Oeste, en un área de 05 ha, estableciendo una malla geoestadística de muestreo de 21 puntos, con espaciamiento de 52 x 52 metros, con muestras de suelo tomadas en la capa de 0-10 cm. Los datos de los atributos químicos medidos se sometieron a análisis geoestadístico y, posteriormente, se elaboraron mapas de fertilidad y de aplicación de cal. La aplicación a tasa variable mostró una reducción en la cantidad de cal necesaria; sin embargo, como consecuencia del coste de la mano de obra especializada, resultó 222,00 reales más cara que la aplicación a tasa fija.

Palabras clave: Agricultura de Precisión. Gestión de la Producción. Potencial Productivo. Variabilidad Espacial.

1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola brasileiro é um dos principais responsáveis pelo equilíbrio da balança comercial nacional, destacando-se pela elevada produção das principais *commodities* agrícolas, suprindo o mercado interno e colaborando significativamente com o comércio externo. No entanto, além da sua importância econômica, este apresenta alta relevância no âmbito social e cultural, onde em conjunto com o setor pecuário, é responsável pela geração de mais de 140,9 mil novos postos de trabalho e contribuindo com cerca de 26,6% do PIB (CEPEA, 2020).

O estado de Rondônia apresenta ascendência significativa na produção agrícola, com evidência na produção de grãos dentre os demais estados que contemplam a região Amazônica. No estado, destaca-se a produção na região do Cone Sul que abrange os municípios de Cabixi, Cerejeiras, Chupinguaia, Colorado do Oeste, Corumbiara, Pimenteiras do Oeste e Vilhena. Os municípios

supramencionados encontram-se em área de transição entre o Cerrado e a Floresta Tropical úmida, caracterizada, de forma majoritária, por solos ácidos, de baixa fertilidade natural, com alto teor de alumínio e baixas concentrações de cálcio e magnésio.

O uso de técnicas e práticas que objetivam restaurar a fertilidade pode contribuir diretamente para a atenuação dos impactos na produção e na viabilização econômica da lavoura. Uma das alternativas para minimizar problemas é a correção da fertilidade do solo através da calagem. No entanto, essa prática é frequentemente realizada sem levar em conta a variabilidade espacial da área de produção. A calagem é uma prática fundamental na agricultura, visando corrigir a acidez do solo e proporcionar condições ótimas para o crescimento das plantas. No entanto, sua aplicação inadequada pode gerar efeitos adversos, comprometendo a produtividade e a sustentabilidade agrícola.

A variação espacial da necessidade de calagem é contornada pela aplicação em taxa variável, por meio de amostras de solo georreferenciadas, que permite a distribuição de insumos em quantidades condizentes à heterogeneidade dos atributos químicos apresentada na área, otimizando os recursos. Ainda, segundo Bernardi *et al.*, (2016), a aplicação em taxa variável afeta diretamente a viabilidade econômica e os impactos ambientais gerados pela atividade agrícola.

Contudo, os custos referentes a adoção das tecnologias inerentes à aplicação em taxa variável possuem a propensão em proporcionar apreensão aos produtores quanto a sua acolhida nas propriedades rurais, visto que a variabilidade pré-existente em meio aos sistemas produtivos, pode inferir na viabilidade econômica da atividade, promovendo dificuldade na deliberação dos benefícios relacionados à um sistema mais tecnológico. Desta maneira, é necessária uma análise minuciosa, condizente com as condições e manejos adotados nas propriedades atualmente, visando promover uma adequação às circunstâncias evidenciadas em cada região.

A despeito da pertinência do uso da agricultura de precisão na última década, até o presente momento se depara com poucos trabalhos desenvolvidos

sobre a temática supracitada dirigidos à região Norte. Assim, com base no exposto acima, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica da aplicação de calcário em taxa variável em um sistema produtivo de alta tecnologia na cultura da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em 2022, em uma área de 05 (cinco) hectare, localizada na área de cultivo de culturas anuais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO) - *Campus Colorado do Oeste* (Figura 1), com coordenada geográfica média de 13°07'45"S e 60°29'14"W.

Figura 1. Representação da malha geoestatística com 21 pontos amostrais georreferenciados.



Fonte: Autor.

De acordo com Fonseca; Silva Filho (2023), a precipitação média anual 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 é alta e uniforme, com variação da média entre 24 e 26 °C. O período seco é caracterizado por três meses com precipitação inferior a 50 mm (junho, julho e agosto), e amplitude térmica anual limitada e uma notável amplitude térmica diária.

O solo possui textura areno argilosa, a classificação indicou presença de Argissolo vermelho, contendo em torno de 22% de argila, com um histórico de cultivo de culturas anuais nos últimos anos, sendo a condução de milho silagem de 2ª safra (2021-2022) a mais recente.

A metodologia a seguir foi baseada no trabalho de Batista *et al.* (2022), em que na fase preliminar da pesquisa, demarcou-se a área de cultivo utilizando o aplicativo Soil sampler 2.0, o qual também foi utilizado para a confecção da malha amostral para a coleta de dados. A malha regular geoestatística apresentou 21 pontos amostrais espaçados entre si com 52x52 m, em que cada ponto amostral foi coletado 4 subamostras em um raio de 5 m. As amostras foram coletadas com o trado holandês as amostras de solo na camada de 0-0,10 m, visando a avaliação dos seguintes atributos químicos: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e alumínio (Al^{3+}) trocáveis, acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}$) e potencial hidrogeniônico (pH). Todas as análises laboratoriais seguiram a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017), onde os teores Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ foram determinados pelo espectrofotômetro de massa (solução extratora KCl 1 mol.L⁻¹ para o Ca^{2+} e Mg^{2+} , e Mehlich-1 para o K^+), pH pelo uso de eletrodo, Al^{3+} por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ (solução extratora KCl 1 mol.L⁻¹) e a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) por determinação volumétrica com solução de NaOH em presença de fenolftaleína (solução extratora BaCl_2 0,1 mol.L⁻¹).

Subsequentemente, efetuou-se a análise geoestatística com o software *Gamma Design Software* (GS+, 2004), através da confecção de semivariogramas, ajustados pelos modelos gaussiano e esférico, e caracterização da variabilidade espacial com a técnica de Krigagem. A geração dos mapas de fertilidade e de aplicação de calcário foram realizados pelo sistema *Falkermap* (versão 2.3.0.3), sendo o último embasado nos métodos de Saturação por bases e Neutralização de alumínio. O cálculo de necessidade de calcário é dado pelas fórmulas de Souza & Lobato (2004):

$$\text{Saturação por bases} \rightarrow NC \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{V2-V\%}{PRNT} \times CTC \quad (1)$$

$$\text{Neutralização de Alumínio} \rightarrow NC \left(\frac{t}{ha} \right) = (2 \times Al) \times f \quad (2)$$

Em que, o V2 é a saturação por bases que se deseja (70%), V% é a saturação por bases atual do solo, CTC é a capacidade de troca catiônica (Acidez potencial + soma de bases), PRNT é o poder relativo de neutralização total do calcário (85%), al é o teor de alumínio trocável e f é o fator de correção para a qualidade do calcário.

Para a recomendação de calagem foi utilizado o calcário dolomítico, com PRNT de 85%, que para o cálculo de aplicação em taxa fixa empregou-se o valor médio dos atributos químicos inerentes da área. Em relação a análise de viabilidade econômica, realizou-se levantamento dos custos associados à aquisição do calcário dolomítico, obtendo o valor de R\$ 220,00 (carga + frete), oriundo do município de Parecis - RO.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise dos parâmetros geoestatísticos são indicativos de que todos os atributos químicos aferidos do solo estudado apresentam forte dependência espacial (Tabela 1), associado à valores convenientes dos demais parâmetros, garantindo a acurácia da estimativa dos valores nos locais não amostrados por meio do interpolador geoestatístico. Esses resultados indicam que o diagnóstico detalhado da fertilidade do solo são representativos da área de cultivo.

Tabela 1. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os atributos químicos Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, H+Al³⁺, pH e V% na camada de 0-10 cm em um Argissolo vermelho em Colorado do Oeste-RO.

Atributos	Modelo (a)	Efeito Pepita (C ₀)	Parâmetros geoestatísticos				Avaliador de dependência espacial	
			Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR (b)	ADE (c)	Classe
y(h) simples dos atributos do solo								

Ca	Gaus.	$1,0 \times 10^{-4}$	$0,2 \times 10^1$	136,74	$8,0 \times 10^{-1}$	$6,5 \times 10^{-1}$	100%	Forte
Mg	Gaus.	$2,9 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$	261,71	$9,8 \times 10^{-1}$	$4,3 \times 10^{-4}$	87,40%	Forte
K	Gaus.	1	$8,3 \times 10^2$	91,97	$9,2 \times 10^{-1}$	$9,9 \times 10^{-1}$	97,25%	Forte
Al	Gaus.	$1,0 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-2}$	122,11	$9,8 \times 10^{-1}$	$4,3 \times 10^{-6}$	100%	Forte
H + Al	Gaus.	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-3}$	140,47	$9,1 \times 10^{-1}$	$7,1 \times 10^{-8}$	99,90%	Forte
pH	Gaus.	$1,0 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-1}$	163,37	$8,0 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-2}$	100%	Forte
V%	Spher.	$1,0 \times 10^1$	$2,9 \times 10^2$	221,1	$6,6 \times 10^{-1}$	$8,2 \times 10^2$	96,50%	Forte

^(a) Gaus. = modelo matemático Gaussiano e Spher = modelo matemático esférico; ^(b) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(c) ADE = avaliador da dependência espacial.

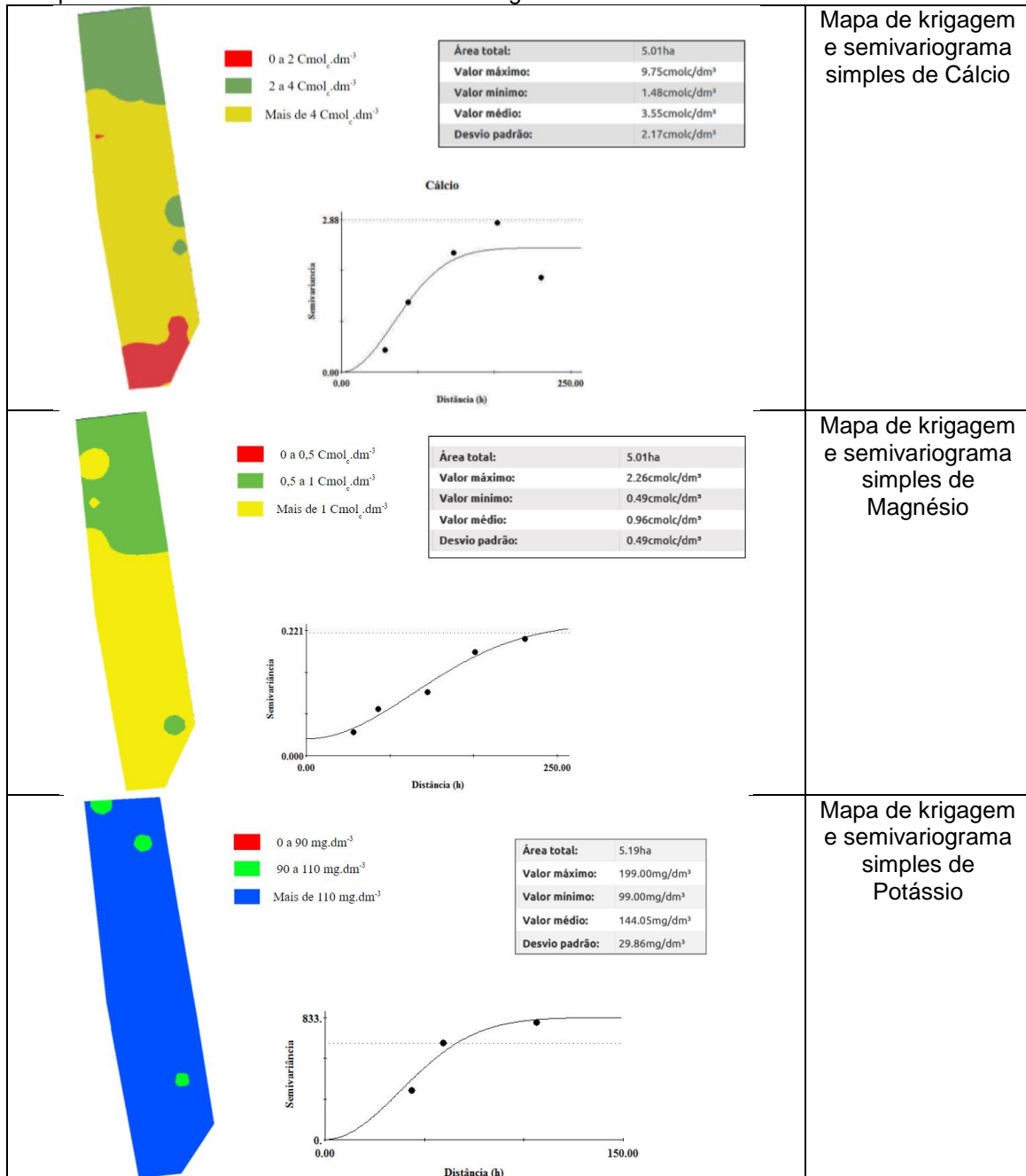
^(a) Gauss. = Gaussian mathematical model and Spher = spherical mathematical model; ^(b) SQR = sum of squares of residuals; ^(c) ADE = spatial dependence evaluator.

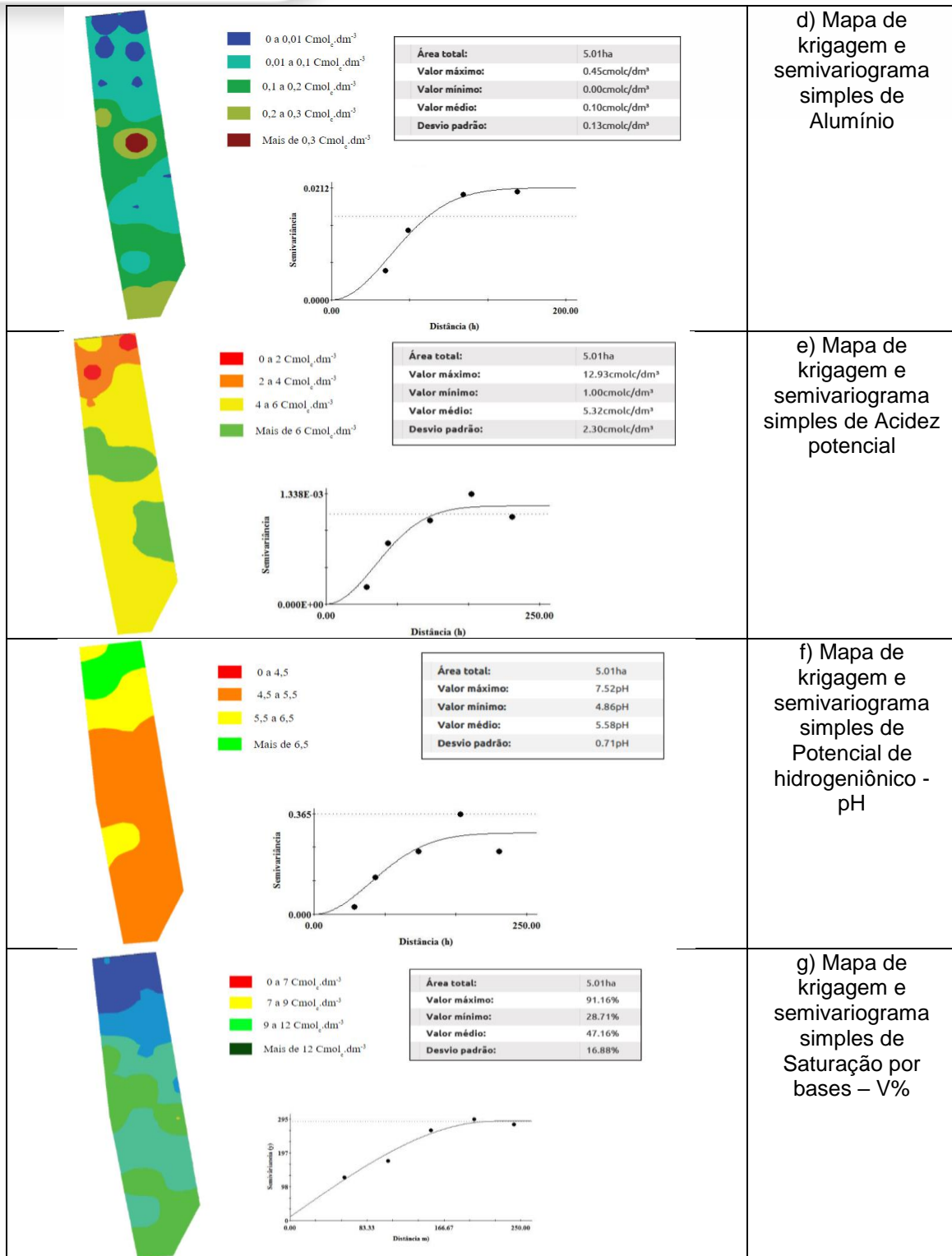
Fonte: Autor.

Ao analisar os mapas de fertilidade elaborados, observou-se que a área apresenta baixa variabilidade espacial dos atributos mensurados, aproximadamente 60% da área amostrada apresentou teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} próximo ao valor médio, ou seja, 3,55 e 0,96 cmolc.dm^{-3} , respectivamente. Esses resultados corroboram ao esperado, visto que se trata de uma área de cultivo anual sucessivo realizado, rotineiramente, sem práticas de correção e fertilização do solo.

A relação Ca/Mg na amostragem georreferenciada obteve valor médio de 3,7/1, e na amostragem tradicional 3,18/1. Em ciência que esses cátions competem entre si pelos sítios de adsorção, tem-se observado maior produtividade da cultura da soja (70 sacas/ha) quando há uma relação de Ca/Mg entre 2,2 a 2,5/1 nas camadas superficiais (Sako *et al.*, 2016). Desta maneira, ambos os métodos de amostragem apresentaram valor maior que o recomendado, sendo indicativo da necessidade de uso de fontes magnesianas, como o próprio calcário dolomítico, que apresenta em sua composição 12% de óxidos de magnésio.

Figura 2. Mapas de krigagem e semivariogramas simples de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , $\text{H}+\text{Al}^{3+}$, pH e V% na camada de 0-10 cm em um Argissolo vermelho em Colorado do Oeste-RO.





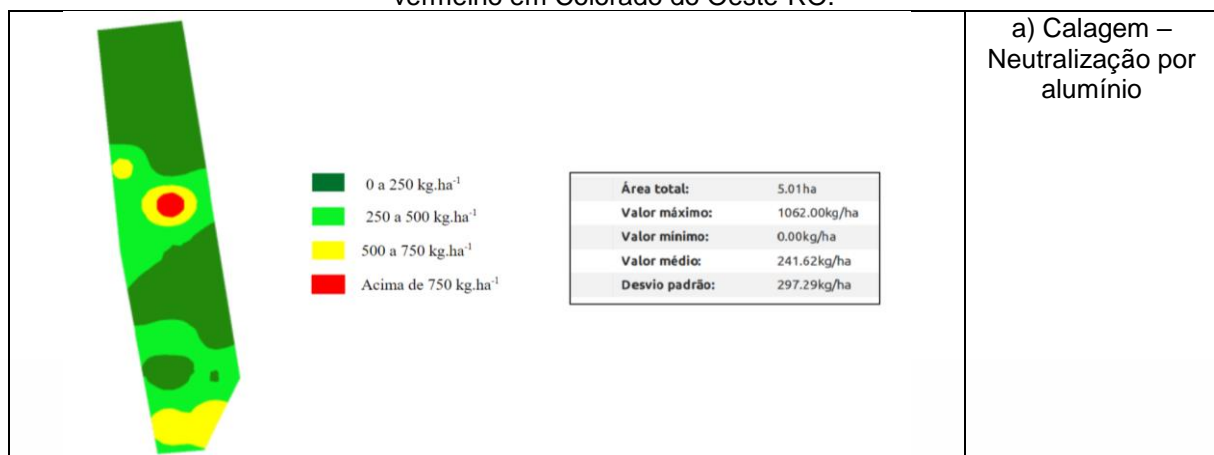
Fonte: Autor.

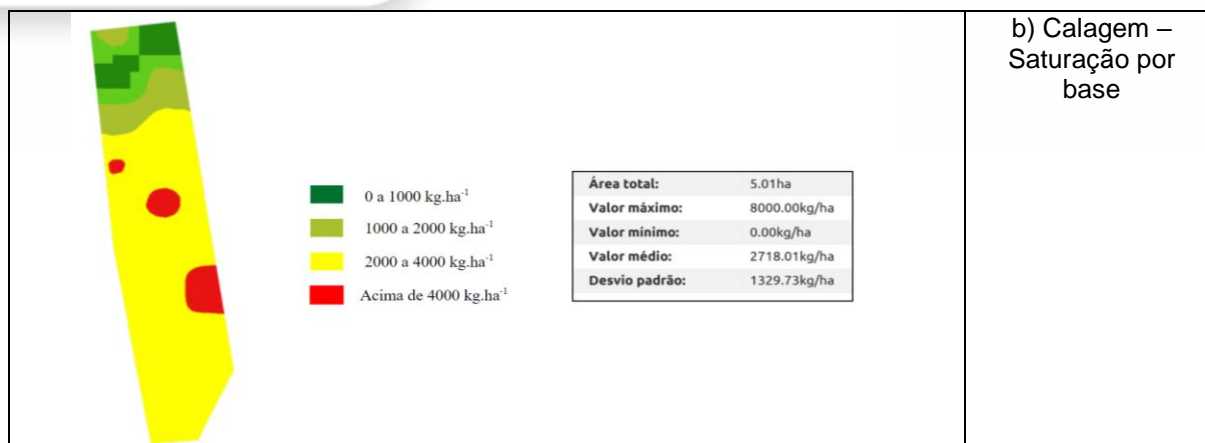
Quanto aos componentes da acidez do solo, é possível visualizar maior variação espacial do pH com amplitude de 7,52 e 4,86, e da acidez potencial 12,93 e 1,0 cmol_e.dm⁻³. No entanto, cerca de 65% da área se encontra na faixa

de pH de 4,5 e 5,5, apresentando valor médio de 5,58. De forma geral, o pH em água adequado para a cultura da soja, visando a obtenção de uma ótima produtividade, situa-se próximo a 6,0 devido à maior disponibilidade da maioria dos nutrientes necessários para o desenvolvimento da cultura (Nunes, 2019). Referente ao teor de alumínio trocável, similarmente, é perceptível uma variação das classes do mapa, entretanto os teores são extremamente baixos, apresentando valor médio de 0,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Por fim, o mapa de fertilidade referente à V% apresentou ampla variação espacial dentro da área amostrada com amplitude de 91,16 e 28,71% respectivamente.

Na definição de necessidade de calagem, auxiliado pelos métodos geoestatístico, estratificou-se a área em quatro classes para o método de Saturação por Bases (0-1000 kg/ha, 1000-2000 kg/ha, 2000-4000 kg/ha, e acima de 4000 kg/ha), assim como para o método de Neutralização de alumínio (0-250 kg/ha, 250-500 kg/ha, 500-759 kg/ha, e acima de 750 kg/ha) e a suas respectivas áreas abrangidas. Diante dos resultados, é assertivo afirmar que a implantação de um sistema de diagnóstico da fertilidade do solo a partir do uso de ferramentas da agricultura de precisão, possibilita a identificação da necessidade de cada local da lavoura através da representação da variabilidade espacial dos atributos do solo, permitindo assim o aprimoramento do manejo do solo a partir da aplicação de insumos em doses variadas por sítios específicos, promovendo o uso racional destes.

Figura 3. Mapas de krigagem de aplicação de calcário na camada de 0-10 cm em um Argissolo vermelho em Colorado do Oeste-RO.





Fonte: Autor.

A Tabela 2 apresenta o resumo da quantidade de calcário necessário para ambos os métodos, isto é, com aplicação em taxa fixa e em taxa variável, no entanto, para análise de viabilidade econômica será utilizado apenas os resultados inerente ao método de Saturação por bases, visto a recomendação de uso do método que dispõe da maior quantidade de calcário (Campanharo, 2007).

É possível afirmar que a menor recomendação de calcário advinda do método de Neutralização de alumínio é resultado da consideração apenas dos teores de Al, Ca e Mg trocáveis, neutralizando o alumínio e elevando o teor de Ca+Mg até 2 Cmol_c.dm⁻³, contudo, segundo Sako *et al.* (2016), para obtenção de alta produtividade na cultura da soja deve-se ter o teor de Ca+Mg próximo a 5,2 Cmol_c.dm⁻³.

Tabela 2. Análise econômica simplificada comparativa entre a aplicação de calcário em taxa variável (Agricultura de Precisão) e em taxa fixa (Agricultura Tradicional).

	Área	NC (t.ha ⁻¹)		NC total		Custo da amostragem (R\$)	Custo de aplicação (R\$)	Custo total (R\$) ^(a)
		Sat. Bases	Neut. Al.	Sat. Bases	Neut. Al.			
Aplicação em taxa fixa	5,01	2,89	0,23	14,48	1,178	75	415	3675,8
Aplicação em taxa variável	5,01	2,59	0,24	12,99	1,216	450	590	3897,8

^(a) Para o cálculo do custo total foi considerado apenas o método de Saturação por bases; ^(b) Para o cálculo de custo da amostragem, foi realizado um levantamento dos preços da região.

^(a) To calculate the total cost, only the base saturation method was considered; ^(b) To calculate the sampling cost, a survey of prices in the region was carried out. Fonte: Autor.

A quantidade total de calcário foi superior quando se utilizou a taxa fixa, em que se aplicou 14,48 t ($2,89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), apresentando acréscimo de 10,3% em relação ao sistema georreferenciado, portanto a utilização da taxa variável proporcionou uma redução de 1,49 t de calcário, sendo, tecnicamente, eficiente na racionalização do uso deste insumo. No presente trabalho, se utilizada a dose média geral (taxa fixa), calculada pelo método de saturação por bases, de $2,89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, em torno de 71% da área (3,55 ha) receberia a dose correta de calcário, e o restante receberia a subdose ou superdose de calcário, o que poderia influenciar negativamente na disponibilidade de nutrientes e na produtividade da cultura.

Quanto aos custos da etapa de coleta de solo, considerando os dois sistemas (AC e AP), o custo por ha da coleta georreferenciada foi de R\$90,00, ao passo que o custo por ha da coleta tradicional foi de R\$15,00. Tem-se que o sistema de AP proporcionou custo total de R\$450,00 enquanto o custo total para o sistema convencional foi de R\$75,00. Em relação à aplicação de calcário, considerando o maior investimento necessário para aquisição de equipamentos com a tecnologia de taxa variada, estimou-se o custo de 108,00 reais por hectare neste sistema, ao passo que para uma aplicação em taxa fixa, tem-se adotado valor de R\$83,00 por hectare.

A baixa variabilidade espacial dos atributos do solo e conseqüentemente da baixa variabilidade espacial da necessidade de calcário, deve-se a pouca discrepância entre as quantidades de insumo requeridas em ambos os métodos de aplicação. Outro fator de baixa viabilidade econômica apresentada pela aplicação em taxa variada, diz respeito ao elevado investimento inicial necessário, devido ao maior custo nas etapas de amostragem do solo, confecção dos mapas, aplicação do insumo e, sobretudo no que se refere ao investimento para aquisição de implementos necessários para aplicação em taxa variada.

Entretanto, a aplicação de calcário em taxa variável promove a racionalização do uso deste insumo e que esta prática proporciona a eliminação dos efeitos de sub e superdosagens, proporcionando condições favoráveis ao melhor rendimento das culturas e a redução dos danos ocasionados ao ecossistema local, provocados pelo uso irracional de fertilizantes.

4 CONCLUSÃO

A recomendação de calagem em taxas variadas na área de estudo reduziu a quantidade total de calcário em relação ao método de aplicação em taxa fixa, promovendo a racionalização da quantidade de insumos a ser aplicada, intervindo na fertilidade do solo conforme as necessidades da cultura da soja, respeitando exigência de cada local da lavoura.

Considerando as etapas do diagnóstico e do manejo do solo, a necessidade de mão-de-obra especializada e a necessidade de aquisição de equipamentos com tecnologias de aplicação em taxa variável, o sistema de agricultura de precisão resultou em um acréscimo de 6,04% no custo de produção em relação ao sistema convencional.

Diante disso, considerando todas as etapas, desde a coleta de solo até a aplicação do insumo, verifica-se que a aplicação em taxa variável representou um custo de R\$3.897,80, indicando acréscimo de R\$222,0 em comparação à aplicação em taxa fixa, que diluindo para uma unidade produtiva (ha), seria igual a R\$44,31 mais oneroso.

A partir das informações dispostas neste artigo, é possível evidenciar a variabilidade espacial dos atributos químicos presente nos solos destinados à produção agrícola, instigando a necessidade de um gerenciamento mais específico dentro das unidades produtivas, objetivando o aumento da produtividade e atenuação dos impactos ambientais proporcionados por manejos convencionais, ambos aspectos fundamentais para o desenvolvimento agrícola sustentável e economicamente viável.

As principais limitações referentes ao presente estudo consistiram no aspecto amostral, devido a restrição de áreas produtivas para a condução do experimento, impossibilitando uma análise comparativa amplificada de diferentes sistemas produtivos. Para futuros trabalhos, recomenda-se a utilização de um maior número de áreas produtivas, visto a possibilidade de detectar diferentes escalas de variabilidade, permitindo uma melhor representatividade das condições heterogêneas da região em estudo.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, J.A. *et al.* Sampling density to detect spatial dependence of potassium, calcium and magnesium in sandy soils. **Eng. Agric.**, v.30, p.283-293, 2022.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; FERREIRA, R. P. *et al.* Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. *Precision agriculture*, v. 17, p. 737-752, 2016.
- CAMPANHARO, M. **Avaliação de métodos de necessidade de calagem no Brasil**. Universidade federal rural do semi-árido (ufersa). *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 97-105, 2007.
- CEPEA - **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do agronegócio brasileiro.Cepea-USP/CNA**, jan/dez 2020. Disponível em:<<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 02 de junho de 2022.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos ; 1)*
- FONSECA, E.L.; FILHO, E.P.S. Predictive modeling applied to potential soil erosion risk mapping in the Western Amazon. *Mercator*, Fortaleza, v. 22, e22010, 2023. ISSN:1984-220. <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22010>
- NUNES, J. L. da S. **Fertilidade: Soja**. Disponível em:<https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/fertilidade_361517.html>. Acesso em: 19 de junho de 2022.
- SAKO, H.; ALVES, M.; MORAES, M. F. *et al.* **Fatores decisivos para se obter produtividade de soja acima de 4.200 kg/ha**. Circular Técnica 2, Mídia Eletrônica, p. 1-10, 2016.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. rev. ampli. Brasília: EMBRAPA Solos, 2017. 577 p.