

## IMPACTO DA DENSIDADE AMOSTRAL NA INTERPOLAÇÃO GEOESTATÍSTICA DE ATRIBUTOS DO SOLO

**Carlos A. da S. RODRIGUES<sup>1</sup>; Jean O. C. BUENO<sup>2</sup>; Leonardo de A. ALVES<sup>3</sup>; Cleber K. de SOUZA<sup>4</sup>**

### RESUMO

A caracterização da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é essencial para o manejo da fertilidade e para a agricultura de precisão. Este estudo avaliou o efeito de diferentes densidades amostrais na representação da acidez potencial, CTC potencial, saturação por bases e necessidade de calagem. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Escola do IFSULDEMINAS – *Câmpus Inconfidentes*, com 268 amostras georreferenciadas em três malhas: 16, 4 e 1 ponto por hectare. Os dados foram processados no QGIS e os mapas gerados por krigagem. Malhas mais densas mostraram maior detalhamento e precisão na definição de unidades de manejo, com destaque para a de 16 pontos por hectare, que detectou melhor as áreas críticas. Já a amostragem com menor densidade produziu mapas mais generalistas, com menor representação da heterogeneidade. Conclui-se que a densidade amostral é fator estratégico para gerar mapas confiáveis e orientar práticas de correção e adubação na agricultura de precisão.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão; Mapeamento temático; Krigagem; Variabilidade espacial; Correção do solo

### 1. INTRODUÇÃO

Aumentar a produção de alimentos é um desafio essencial para atender à crescente demanda populacional. A produtividade agrícola depende da interação eficiente entre solo, planta e clima, fatores que podem ser manejados para otimizar os rendimentos. Os solos brasileiros apresentam níveis elevados de intemperismo e fertilidade distribuída de forma heterogênea. A adubação, ainda frequentemente “uniforme”, pode causar subaplicação ou superaplicação. Neste contexto, a agricultura de precisão surge como uma ferramenta estratégica, promovendo o uso racional de fertilizantes por meio da aplicação em taxa variável (Bernardi *et al.*, 2015).

O mapeamento da fertilidade do solo, com técnicas geoespaciais, permite visualizar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, otimizando o manejo agrícola. A qualidade dos mapas gerados depende da densidade amostral utilizada, com densidades maiores resultando em mapas mais detalhados e confiáveis (Figueiredo *et al.*, 2019).

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo, como acidez potencial, CTC potencial, saturação por bases e necessidade de calagem, usando diferentes densidades amostrais e técnicas de interpolação para gerar mapas temáticos.

<sup>1</sup>Discente, IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. E-mail: carlos.rodrigues@alunos.ifsuldeminas.edu.br

<sup>2</sup>Discente, IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. E-mail: jean.bueno@alunos.ifsuldeminas.edu.br

<sup>3</sup>Discente, IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. E-mail: leonardo.assis@alunos.ifsuldeminas.edu.br

<sup>4</sup>Orientador, IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. E-mail: cleber.souza@ifsuldeminas.edu.br

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado na área de culturas anuais da Fazenda Escola do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais – *Campus Inconfidentes*. Foram coletadas 268 amostras de solo georreferenciadas. As amostras foram organizadas em três conjuntos amostrais: 16 pontos por hectare (grid de 25 m x 25 m), 4 pontos por hectare (grid 50 m x 50 m) e 1 ponto por hectare (grid 100 m x 100 m).

Os atributos químicos analisados foram potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e acidez potencial (H+Al). Os dados foram processados no software QGIS, com filtragem prévia para eliminar possíveis *outliers* e evitar distorções na análise geoestatística. Posteriormente, os dados foram interpolados por krigagem no RStudio, conforme metodologia de Finazzi (2011), gerando mapas *raster* para cada variável e densidade amostral.

A análise comparativa entre os conjuntos foi realizada com base em mapas de recomendação de calagem (com V% de 70), saturação por bases, capacidade de troca catiônica (CTC) potencial e acidez potencial. Também foram extraídos relatórios de cálculo referentes à necessidade de calagem.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados evidenciaram que o aumento da densidade amostral proporcionou nível mais detalhado na representação da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo (Figura 1). No mapa de acidez potencial, a malha com 1 ponto por hectare indicou uma distribuição predominantemente homogênea, enquanto a malha com 16 pontos revelou variação significativa entre as classes, refletindo uma maior heterogeneidade nas condições químicas do solo.

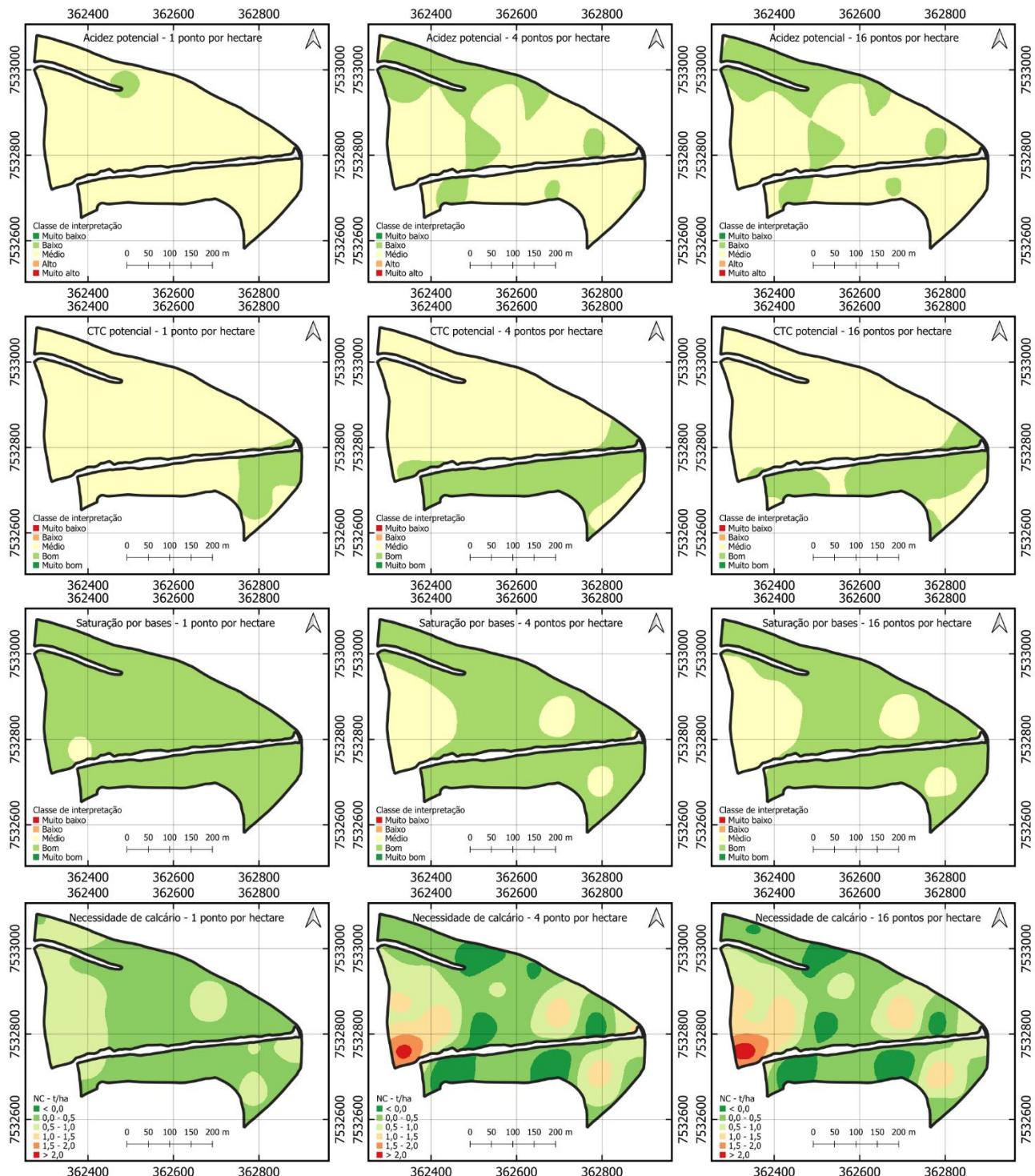
Nos mapas de CTC potencial, a maior densidade amostral permitiu identificar zonas de alta e baixa capacidade de troca catiônica. O mesmo padrão foi observado na saturação por bases: regiões de menor saturação foram detectadas apenas nas malhas mais densas.

A necessidade de calagem foi o atributo que mais evidenciou diferenças entre as densidades amostrais. Enquanto a malha com 1 ponto por hectare indicou apenas duas zonas, a malha com 16 pontos demonstrou várias áreas com diferentes níveis de exigência, incluindo regiões que não necessitam de calcário.

Essas evidências reforçam a ideia de que a densidade amostral impacta diretamente a acuracidade e aplicabilidade dos mapas gerados, tornando-se um fator crucial em estudos de mapeamento da fertilidade e na delimitação de unidades de gestão diferenciadas.

Na Tabela 1 pode-se observar que, para todas as densidades, a maior parte da área apresentou necessidade de calagem entre 0,0 e 0,5 t ha<sup>-1</sup>. Esse padrão indica que o solo, de modo geral, possui baixa acidez e demanda apenas doses residuais de calcário. À medida que a densidade amostral

aumenta, observa-se uma redistribuição mais detalhada das doses, com redução das áreas na faixa mais baixa e maior identificação de regiões que exigem entre 0,5 e 1,5 t ha<sup>-1</sup>, demonstrando que malhas mais densas permitem identificar variações locais mais sutis.



**Figura 1.** Comparação entre três densidades amostrais (1, 4 e 16 pontos por ha) para os fatores Acidez potencial, CTC potencial, Saturação por bases e Necessidade de calcário.

**Fonte:** Autores, 2025.

Outro aspecto relevante é que áreas com necessidade superior a 2,0 t ha<sup>-1</sup> só foram identificadas com 4 e 16 pontos ha<sup>-1</sup> o que reforça a importância da amostragem detalhada para

localizar “pontos críticos” de acidez. Embora a amostragem mais densa eleve os custos, ela permite aplicações mais precisas e homogêneas. Já as malhas de menor densidade tendem a gerar diagnósticos generalistas, aumentando o risco de sub ou superdosagem.

**Tabela 1.** Distribuição das doses de calcário e da área de aplicação em função da densidade amostral. Inconfidentes, MG, 2025.

Dose de calcário t ha <sup>-1</sup>	Necessidade de calagem					
	1 ponto por hectare		4 pontos por hectare		16 pontos por hectare	
	Área (m <sup>2</sup> )	%	Área (m <sup>2</sup> )	%	Área (m <sup>2</sup> )	%
< 0,0	-	-	26.664	16,02	22.231	13,36
0,0 a 0,50	109.510	65,79	73.363	44,08	72.447	43,53
0,50 a 1,0	56.906	34,19	44.790	26,91	45.998	27,64
1,0 a 1,5	24	0,02	16.952	10,18	20.542	12,34
1,5 a 2,0	-	-	3.744	2,25	3.640	2,19
> 2,0	-	-	927	0,56	1.582	0,94
Total	166.440	100	166.440	100	166.440	100

Fonte: Autores, 2025.

Do ponto de vista agronômico e econômico, o uso de 16 pontos ha<sup>-1</sup> pode elevar o custo de amostragem e aplicação, porém permite identificar microambientes com maior precisão. Assim, a escolha da densidade amostral deve considerar o equilíbrio entre custo operacional e ganho de eficiência agronômica para sistemas de produção que buscam alta precisão.

#### 4. CONCLUSÃO

A densidade amostral é determinante para a qualidade da caracterização espacial da fertilidade do solo, influenciando diretamente a interpretação da variabilidade química do solo.

O aumento da densidade amostral elevou a precisão dos mapas, permitindo identificar padrões locais e “pontos críticos” de acidez.

A densidade amostral deve ser considerada um fator estratégico no planejamento do mapeamento da fertilidade, equilibrando custo operacional e ganho em eficiência agronômica.

#### REFERÊNCIAS

BERNARDI, A. C. de C; BETTIOL, G. M; GREGO, C. R; ANDRADE, R. G; RABELLO L. M; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 205-221, jan./ago. 2015.

FIGUEIREDO, V, C; SILVA, F. M da; FERRAZ, G. A. e S; OLIVEIRA, M. S. de; VOLPATO, M. L. Mapeamento da fertilidade do solo para lavouras cafeeiras em diferentes densidades amostrais. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Vitória-ES, 8 a 11 out. 2019. ISSN: 1984-9249.

FINAZZI, F. B. Comparação da eficácia da adição de pontos intermediários à grade regular amostral na elaboração de mapas para agricultura de precisão. **Universidade de São Paulo - USP**, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, jul. 2011.