

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* BAMBUÍ
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Rafael Alves Martins

**MAPEAMENTO DA NECESSIDADE DE CALAGEM E
AVALIAÇÃO DO EFEITO PÓS-APLICAÇÃO COM USO DE
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

BambuÍ – MG

2026

RAFAEL ALVES MARTINS

**MAPEAMENTO DA NECESSIDADE DE CALAGEM E
AVALIAÇÃO DO EFEITO PÓS-APLICAÇÃO COM USO DE
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto
Federal de Minas Gerais – *Campus* Bambuí para
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Santos Campos

Bambuí – MG

2026

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

M386m Martins, Rafael Alves.

Mapeamento da necessidade de calagem e avaliação do efeito pós-aplicação com uso de técnicas de geoprocessamento - MG. / Rafael Alves Martins. – 2026.

36 f.; il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Santos Campos.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Bacharelado em Agronomia, 2026.

1. Análise química. 2. Krigagem. 3. Agricultura de precisão. I. Campos, Diogo Santos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 630



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

Campus Bambuí

Diretoria de Ensino

Departamento de Engenharia e Computação

Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

RAFAEL ALVES MARTINS

**MAPEAMENTO DA NECESSIDADE DE CALAGEM E AVALIAÇÃO DO EFEITO PÓS
APLICAÇÃO COM USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Bambuí* para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Aprovado em 01/07/2026 pela banca examinadora:

Bambuí, 01 de julho de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Santos Campos, Professor**, em 17/07/2026, às 08:01, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Gislaine Pacheco Tormen, Professora**, em 17/07/2026, às 08:11, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Vladimir Antonio Silva, Professor**, em 17/07/2026, às 10:23, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2791509** e o código CRC **12495D07**.

23209.003810/2024-62	2791509v1
----------------------	-----------

DEDICO

Dedico este trabalho a minha família, pelo amor e apoio em cada passo da minha caminhada. Aos meus pais e avós, por todo o esforço e incentivo, a minha irmã, que sempre acreditou em mim e me inspirou para seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho é resultado de uma jornada repleta de aprendizado, desafios e conquistas. Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste TCC.

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, força e perseverança durante todo o curso.

Aos meus pais e familiares, pelo apoio incondicional, pelos ensinamentos de vida e por acreditarem em mim, em todos os momentos.

Ao meu orientador, professor Dr. Diogo Santos Campos, pela dedicação, paciência e orientação precisa ao longo deste trabalho. Sua experiência e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse aprofundar meus conhecimentos sobre a agricultura de precisão e compreender a importância dessa área para o futuro do agronegócio.

Aos professores do curso de bacharelado em Agronomia, que contribuíram com conhecimento técnico e prático ao longo da graduação.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais, por fornecer a infraestrutura e os recursos necessários para a realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos que compartilharam experiências, debates e apoio durante os anos de estudo, o que tornou essa jornada mais leve e enriquecedora.

Por fim, deixo meu agradecimento àqueles que acreditam na transformação do campo por meio da tecnologia e da inovação. A agricultura de precisão não é apenas um avanço técnico, mas um caminho para uma produção mais eficiente, sustentável e consciente.

Muito obrigado!

“Tudo posso naquele que me fortalece”.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Área de estudo.....	19
FIGURA 2 - GPS utilizado para definição dos pontos amostrais.....	20
FIGURA 3 - Amostragem do solo.....	20
FIGURA 4 - Amostras de solo coletadas.....	21
FIGURA 5 - Boxplots dos atributos químicos do solo.....	28
FIGURA 6 - Mapas de necessidade de calagem interpolado representando a necessidade de calagem pré-aplicação (A) e pós-aplicação de calcário (B).....	30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Classes de necessidade de calagem.....	23
TABELA 2 - Análise de solo realizada no dia 09/08/2024 antes da aplicação.....	26
TABELA 3 - Análise de solo realizada no dia 11/02/2025 após aplicação.....	27
TABELA 4 - Análise geoestatística.....	19
TABELA 5 - Comparativo de áreas antes e depois da aplicação de calcário.....	31

RESUMO

MARTINS, R. A, **Mapeamento da necessidade de calagem e avaliação do efeito pós aplicação com uso de técnicas de geoprocessamento**. Bambuí: IFMG *Campus* Bambuí, 2026, 36 p.

A correção da acidez do solo é um fator determinante para a produtividade agrícola e o uso de geotecnologias permite um manejo mais preciso dessa prática. O trabalho objetivou mapear a necessidade de calagem - NC e avaliar o efeito pós-aplicação de calcário em uma área experimental na Fazenda Varginha, *Campus* do IFMG em Bambuí, MG, utilizando técnicas de geoprocessamento. A metodologia envolveu a coleta de 20 amostras de solo para o mapeamento inicial e outras 20 amostras após 90 dias da aplicação de uma dose fixa e uniforme. Os dados químicos foram processados para o cálculo da NC pelo método da saturação por bases e especializados via interpolação por *krigagem*. Os resultados demonstraram que a calagem elevou o pH médio de 5,90 para 6,04 e reduziu a heterogeneidade da acidez na área, conforme indicado pela redução do desvio padrão de 0,35 para 0,14. No entanto, a análise espacial revelou que a aplicação em taxa fixa resultou em pontos com correção insuficiente e zonas com aplicação excessiva de corretivo, todavia o V% esperado de 80% só foi atingido em parte da área tratada, indícios que a correção em dose única não atende o esperado. Conclui-se que o uso do geoprocessamento é fundamental para identificar a variabilidade espacial do solo, evidenciando que a adoção da aplicação em taxa variável proporcionaria maior eficiência técnica, redução de custos e menor impacto ambiental em comparação ao manejo convencional.

Palavras-chave: Análise química. *Krigagem*. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

MARTINS, R. A, **Mapping Lime Requirement and Evaluating Post-Application Effects Using Geoprocessing Techniques**. Bambuí: IFMG Campus Bambuí, 2026, 36 p.

Soil acidity correction is an important factor for agricultural productivity, and the use of geotechnologies allows this practice to be managed more accurately. The aim of this study was to map the lime requirement (LR) and evaluate the effects of lime application in an experimental area at Fazenda Varginha, located on the IFMG campus in Bambuí, Minas Gerais, Brazil, using geoprocessing techniques. The methodology consisted of collecting 20 soil samples before lime application and another 20 samples 90 days after applying a single, uniform lime rate. The soil chemical data were used to calculate the lime requirement using the base saturation method, and spatial distribution maps were generated through kriging interpolation. The results showed that liming increased the average soil pH from 5.90 to 6.04 and reduced the spatial variability of soil acidity, as indicated by the decrease in the standard deviation from 0.35 to 0.14. However, the spatial analysis revealed that the fixed-rate application resulted in areas with insufficient correction and others with excessive lime application. In addition, the target base saturation (V%) of 80% was achieved only in part of the study area, indicating that a single uniform application did not adequately meet the soil's variable correction requirements. It was concluded that the use of geoprocessing is essential for identifying the spatial variability of soil properties, demonstrating that variable-rate lime application could provide greater technical efficiency, reduce costs, and minimize environmental impacts compared with conventional management.

Keywords: Chemical analysis. Kriging. Precision agriculture.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1. Importância da Correção do solo para agricultura.....	14
3.2. Técnicas de geoprocessamento na agricultura.....	16
3.3. Agricultura de precisão.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1. Definição da área de estudo e grade amostral.....	18
4.2. Coleta das amostras de solo.....	19
4.3. Determinação da necessidade de calagem.....	21
4.4. Geração dos mapas de variabilidade espacial da necessidade de calagem.....	22
4.5. Análise estatística descritiva dos dados.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1. Análise espacial da necessidade de calagem	28
6. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um dos principais fatores limitantes da produção agrícola em regiões tropicais, influenciando diretamente a disponibilidade de nutrientes, o desenvolvimento radicular e o potencial produtivo das culturas (OLIVEIRA *et al.*, 2026). A calagem constitui uma das práticas de manejo mais utilizadas para a correção da acidez, proporcionando a elevação do pH do solo, a redução da toxicidade por alumínio e o fornecimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Como resultado, tem-se a melhoria das condições químicas do solo, favorecendo a absorção de nutrientes e aumento da produtividade agrícola (RONQUIM, 2010).

Contudo, tradicionalmente, a recomendação e aplicação de calcário são realizadas em dose fixa para toda a área, considerando valores médios obtidos por amostragens compostas de solo. Entretanto, os atributos químicos do solo não se distribuem de forma homogênea dentro de uma área agrícola. Fatores relacionados ao relevo, material de origem, manejo e histórico de cultivo contribuem para a existência de variabilidade espacial, fazendo com que diferentes locais apresentem distintas necessidades de correção da acidez. Dessa forma, a adoção de uma única dose de calcário para toda a área pode resultar em correções inadequadas, com regiões recebendo quantidades insuficientes ou excessivas do corretivo.

Essa limitação dos métodos convencionais de manejo tem impulsionado a adoção de técnicas da agricultura de precisão, cuja proposta consiste em considerar a variabilidade espacial existente nas áreas de cultivo para melhorar a aplicação de insumos. Por meio da coleta de dados georreferenciados e da análise espacial das informações, torna-se possível identificar zonas com diferentes necessidades de manejo, aumentando a eficiência das operações agrícolas e reduzindo custos de produção.

Para viabilizar essa abordagem, o geoprocessamento destaca-se como uma ferramenta fundamental, uma vez que permite coletar, armazenar, processar e analisar informações espacialmente georreferenciadas (ROSA, 2013). Nesse contexto, associado aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como o *software* QGIS, o geoprocessamento possibilita a elaboração de mapas temáticos que representam a distribuição espacial dos atributos do solo. Tais ferramentas permitem não apenas o planejamento da aplicação, mas também a avaliação pós-aplicação da calagem, fornecendo dados cruciais sobre a eficácia do corretivo e a necessidade de ajustes futuros no manejo.

A utilização de técnicas de geoprocessamento na agricultura de precisão tem se mostrado uma ferramenta fundamental para o manejo eficiente de insumos e para a sustentabilidade das práticas agrícolas.

Diante do exposto, este trabalho se justifica pela possibilidade de otimizar recursos e aumentar a eficiência agrícola, com benefícios econômicos e ambientais. Destarte, este estudo visa avaliar a eficácia da aplicação de calcário a uma taxa uniforme em comparação com a variabilidade espacial de uma área experimental, utilizando o mapeamento do solo para orientar a aplicação do corretivo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial da necessidade de calagem e os efeitos da aplicação uniforme de calcário sobre os atributos químicos do solo, utilizando técnicas de geoprocessamento em uma área agrícola.

2.2. Objetivos específicos

- Gerar mapas de necessidade de calagem antes e após a aplicação de calcário;
- Comparar os atributos químicos do solo antes e após a aplicação de calcário, avaliando as alterações na necessidade de calagem e na variabilidade espacial da área.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Importância da Correção do solo para agricultura

A correção do solo constitui uma prática fundamental para a produção agrícola, pois visa adequar suas características físicas, químicas e biológicas, proporcionando condições favoráveis ao crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas. Por meio dessa prática, busca-se reduzir fatores limitantes à produção, promovendo maior eficiência no aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas.

Solos com acidez elevada, baixa disponibilidade de nutrientes ou compactação podem impedir o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção de água e nutrientes. Práticas como a calagem são adotadas para tornar a acidez do solo ideal para os cultivos, aumentar os teores de cálcio e magnésio e otimizar a eficiência nutricional (RAIJ *et al.*, 1997). Já a adubação corretiva complementa esse processo ao repor os nutrientes em quantidades adequadas,

conforme as exigências das culturas e os resultados da análise de solo (EMBRAPA, 2016). Essas ações contribuem diretamente para o aumento da produtividade, conservação dos solos e a produtividade das lavouras.

O acompanhamento da fertilidade do solo é fundamental para a tomada de decisões no manejo agrícola. Por meio da análise de solo é possível obter informações essenciais que permitem o planejamento de ações voltadas ao manejo da fertilidade. É necessário acompanhar as principais referências relacionados à fertilidade, identificar e interpretar possíveis deficiências, com destaque para a matéria orgânica do solo (MOS), pH, Alumínio (Al), saturação por bases (V), Fósforo (P) e Potássio (K). A partir desses dados, é possível definir práticas adequadas de correção e adubação, visando uma produção agrícola eficiente e sustentável (MÜLLER, 2022).

Em grande parte dos solos brasileiros, o crescimento e desenvolvimento das culturas é limitado pela acidez do solo (BRUM, 2023). Isso porque, devido ao clima tropical, os solos brasileiros são naturalmente ácidos. Essa acidez é altamente relacionada com o processo de formação do solo, o intemperismo afeta diretamente a fertilidade do solo (SILVA *et al.*, 2021).

De modo geral, os efeitos da acidez do solo são sentidos nas camadas superficiais, embora também possam se estender para as camadas mais profundas, onde podem impedir a absorção de água e nutrientes pelas plantas. A acidez do solo é geralmente avaliada por meio da escala de pH, que varia de 0 a 14. Onde valores inferiores a 7,0 indicam acidez do solo, enquanto valores superiores a esse ponto são considerados básicos ou alcalinos. A maioria das culturas agrícolas apresenta bom desenvolvimento em solos com pH na faixa de 5,5 a 6,5 (SILVA *et al.*, 2021).

Neste sentido, é importante que os agricultores realizem a análise do solo, para avaliar suas condições químicas e físicas para identificar possíveis necessidades de correção. A prática de correção da acidez, conhecida como calagem, é essencial para a melhoria da eficiência dos fertilizantes aplicados, promovendo um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, ao aumento da produtividade (VELOSO *et al.*, 2020).

3.2. Técnicas de geoprocessamento na agricultura

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2014), as geotecnologias são técnicas e métodos científicos aplicados à análise, exploração, estudo e conservação dos recursos naturais, considerando diferentes escalas de observação e ao componente espacial das informações. Tecnologias essas que são amplamente utilizadas em

estudos da paisagem, no monitoramento de variáveis ambientais, na prevenção de desastres naturais e na gestão das atividades. Estas técnicas são aplicadas por meio de *hardwares* como satélites, câmeras, receptores, computadores e *softwares* especializados na coleta, armazenamento, manipulação e análise de dados espaciais (CAMARA *et al.*, 2001)

Dentre as geotecnologias, tem-se o geoprocessamento que pode ser definido como o conjunto de tecnologias voltadas à coleta, tratamento, análise e representação de dados espaciais com finalidades específicas (INPE, 2006).

Na agricultura de precisão, essas atividades são disponibilizadas principalmente por meio dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG, que constituem um conjunto integrado de ferramentas capazes de adquirir, armazenar, manipular, recuperar, transformar e apresentar informações georreferenciadas (INPE, 2006). Essas ferramentas são aplicáveis a diversas áreas, permitindo o monitoramento detalhado do ambiente e contribuindo para práticas de manejo mais viáveis e eficientes (BRASIL, 2009).

Um SIG tem como principal objetivo o processamento de informações espaciais, por meio da criação de representações digitais do ambiente real. Essas ferramentas permitem o armazenamento e o gerenciamento eficiente de dados georreferenciados, ou seja, com localização exata por meio de coordenadas (INPE, 2006).

Na agricultura de precisão, o uso do SIG viabiliza a identificação e o mapeamento de variáveis ambientais e agronômicas, como a fertilidade do solo, a topografia e os níveis de produtividade, possibilitando uma análise detalhada do ambiente agrícola que auxiliam no entendimento e no suporte à tomada de decisão na produção agrícola (BRASIL, 2009; OYAMA *et al.*, 2021).

A utilização de geotecnologias representa um recurso fundamental na adoção de práticas de conservação do solo, uma vez que possibilita o uso das terras conforme sua aptidão agrícola. Essa abordagem considera tanto as capacidades quanto as limitações dos solos, promovendo um manejo sustentável e eficiente dos recursos naturais (ZONTA *et al.*, 2022).

3.3. Agricultura de precisão

A agricultura de precisão utiliza as geotecnologias para coletar e analisar as informações agrícolas. É um conjunto de tecnologias e ferramentas voltadas à coleta, análise e utilização de dados que permitem ao produtor conhecer em detalhes a área cultivada. De acordo com Pires *et al.* (2022), a agricultura de precisão consiste em uma abordagem sistemática do manejo

agrícola que considera atributos específicos do ambiente de cultivo, como a localização geográfica e a fertilidade do solo, entre outras variáveis agronômicas.

Essa abordagem divide o espaço agrícola em unidades homogêneas menores, o que se torna possível o manejo adequado conforme as características e capacidades de cada porção da área cultivada. Por exemplo, em vez de analisar um talhão de 1 hectare, é possível dividi-lo em áreas menores e caracterizar essas áreas. O objetivo conhecer em detalhes o solo e a cultura, de forma que possa ser adicionada apenas a quantidade de recursos necessários (GREGO *et al.*, 2022; MELO *et al.*; 2024). Dessa forma é possível reduzir os custos e aumentar a produtividade, ao mesmo tempo em que se minimizam os impactos ambientais, como poluição e degradação. Para isso, é essencial o monitoramento contínuo e o gerenciamento de um grande volume de informações com variabilidade espacial e temporal (LAMPARELLI, 2022).

A criação de mapas digitais com informações sobre o solo, por exemplo, pode ajudar os produtores na aplicação de insumos agrícolas em taxas variáveis de forma mais eficiente. No entanto, é fundamental que esses mapas sejam elaborados com precisão. Uma maneira de alcançar isso é por meio da interpolação de amostras pontuais, utilizando, por exemplo, o método de Krigagem Ordinária, uma das técnicas mais usadas na agricultura digital para esse fim. Ainda assim, é importante considerar algumas limitações desse método, especialmente a exigência de muitas amostras para gerar informações confiáveis sobre a semivariância (GREGO *et al.*, 2022)

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Varginha no Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Bambuí* e foi compreendido nas seguintes etapas: Definição da área de estudo e grade amostral; Coleta de amostras de solo; Determinação da necessidade de calagem; Geração dos mapas de variabilidade espacial da necessidade de calagem; Análise estatística descritiva dos dados. Cada uma destas etapas está detalhada a seguir:

4.1. Definição da área de estudo e grade amostral

Para o presente estudo, foi utilizada uma área de 2,66 ha localizada em um pivô central de irrigação por aspersão do Instituto Federal de Minas Gerais, no município de Bambuí - MG. A área experimental apresenta coordenadas centrais de 20° 02' 20" S e 42° 00' 25" W, com altitude aproximada de 700 m. A delimitação da área experimental foi realizada buscando

contemplar uma região representativa quanto à variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, condição essencial para estudos voltados à agricultura de precisão e manejo localizado.

A escolha da área também considerou fatores como histórico de manejo agrícola, facilidade operacional para realização das amostragens e potencial de variabilidade espacial dos atributos relacionados à fertilidade do solo. A adoção da malha amostral objetivou representar adequadamente a variabilidade espacial dos atributos do solo, permitindo a elaboração de mapas e análises geoestatísticas.

A densidade amostral (espaçamento entre os pontos) foi definida em função da disponibilidade da instituição, tamanho da área, nível de detalhamento desejado e da viabilidade operacional das coletas. Grades amostrais com maior densidade possibilitam melhor representação da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, porém demandam maior custo operacional e laboratorial. Foram disponibilizadas pelo IFMG – *Campus* Bambuí, 40 análises de solo, sendo 20 amostras para o mapeamento de calagem e mais 20 amostras para avaliação do efeito pós-aplicação de calcário. A grade amostral foi criada com auxílio do software QGIS. A Figura 1 ilustra a área de estudo, bem como a grade amostral.

Figura 1 - Área de Estudo



Fonte: Google Earth (2024), adaptada pelo autor, 2026.

4.2. Coleta das amostras de solo

Os pontos da grade criada (Figura 1) foram transferidos para um GPSmap 60CSx da Garmin (Figura 2), *Campus* Bambuí por meio da versão livre do programa GPS TrackMaker. Com uso do GPSmap 60CSx os pontos foram acessados e em cada ponto amostral foram coletadas 5 subamostras, sendo uma no ponto principal e 4 (quatro) subamostras ao redor do ponto georreferenciado em um raio de aproximadamente 5 metros do ponto principal. Essas subamostras foram colocadas em um balde e homogeneizadas formando uma amostra composta.

Figura 2 - GPS usado para definição dos pontos amostrais



Fonte: Próprio autor, 2026.

As amostras foram retiradas com ferramentas apropriadas para essa coleta, neste caso, utilizamos o trado holandês (Figura 3). Para uma amostragem de qualidade, foi feita uma limpeza superficial no local, e com o trado foi retirada a amostra de 0 a 20 centímetros de profundidade.

Figura 3 - Amostragem do solo



Fonte: Próprio autor, 2026.

Essas amostras compostas (Figura 4) foram devidamente identificadas e enviadas ao laboratório de solos do IFMG, *Campus Bambuí*, onde foi realizada análise química.

Figura 4 - Amostras de solo coletadas



Fonte: Próprio autor, 2026.

Na segunda etapa, após a aplicação de 2T/ha, aplicado, incorporado, e após 90 dias da aplicação, considerando os mesmos pontos da etapa anterior, com as mesmas ferramentas utilizadas, foi feita uma segunda amostragem e enviadas também ao laboratório de solos do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus – Bambuí*.

As análises químicas foram realizadas para identificação dos seguintes parâmetros: pH, Cálcio (Ca), Potássio (K₂O), Magnésio (Mg) e Alumínio mais hidrogênio (Al+H).

4.3. Determinação da necessidade de calagem

A necessidade de calagem (NC) foi determinada pelo método da saturação por bases (V%), conforme proposto por Ribeiro, Guimarães e Alvarez. (1999), amplamente utilizado para a recomendação de corretivos da acidez do solo em Minas Gerais. Esse método tem como objetivo elevar a saturação por bases do solo a um valor considerado adequado para o desenvolvimento da cultura de interesse.

A necessidade de calagem foi calculada utilizando a Equação 1:

$$NC = T \cdot (V_2 - V_1) / 100 \quad \text{Eq.1}$$

Em que:

- NC = necessidade de calagem (t ha^{-1});
- T = capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC a pH 7,0) (cmolc dm^{-3});
- V_1 = saturação por bases atual do solo (%);
- V_2 = saturação por bases desejada para a cultura (%).

Para o presente estudo, adotou-se uma saturação por bases desejada (V_2) de 80%. Após a obtenção da necessidade de calagem, os valores foram corrigidos considerando a profundidade de incorporação do corretivo de 0 a 20cm e o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) do calcário utilizado, correspondente a 85%. Com base nesses critérios, foi obtida uma recomendação de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário.

Com os resultados das análises químicas do solo, a necessidade de calagem foi calculada individualmente para cada ponto amostrado. Posteriormente, os dados foram espacializados utilizando o software QGIS, possibilitando a elaboração de mapas temáticos da necessidade de calagem. O primeiro mapa (figura 6) representa a condição original da área, antes da aplicação do corretivo, enquanto o segundo demonstra a situação estimada após a aplicação do calcário.

Os mapas gerados podem ser utilizados em conjunto com sistemas de navegação e controladores embarcados em máquinas agrícolas para aplicação de calcário em taxa variável, contribuindo para a otimização do uso de insumos, redução de desperdícios e aumento da eficiência produtiva da área.

4.4. Geração dos mapas de variabilidade espacial da necessidade de calagem

Após obter os resultados do laboratório e avaliar a necessidade de calagem de cada ponto, os dados foram organizados em planilhas, as quais contêm informações sobre os atributos químicos do solo e as coordenadas geográficas dos locais de coleta. Dados esses que foram utilizados para a geração dos mapas de variabilidade espacial da necessidade de calagem na área. Esse processo permitiu representar graficamente a distribuição da necessidade de calcário na área estudada, possibilitando a identificação de subáreas com diferentes necessidades de calagem.

Para a elaboração dos mapas temáticos, foi utilizado o método de interpolação espacial, por meio do qual os valores obtidos nos pontos amostrais foram estimados para os locais não amostrados da área experimental. Esse procedimento permitiu gerar superfícies contínuas de distribuição da necessidade de calagem e dos demais atributos avaliados, possibilitando sua representação espacial na área de estudo.

A interpolação espacial dos dados foi realizada pelo método da krigagem ordinária, utilizando o plugin Smart-Map no *software* QGIS.

O procedimento baseou-se na construção e ajuste de semivariogramas, os quais permitiram avaliar a dependência espacial entre os pontos georreferenciados e estimar os valores da necessidade de calagem para locais não amostrados. Após a geração dos mapas, os valores de necessidade de calagem foram classificados em quatro classes temáticas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de necessidade de calagem para a elaboração dos mapas temáticos

Necessidade de Calagem ($t\ ha^{-1}$)	Classe
$\leq 0,0$	Sem necessidade de calagem
$> 0,0\ e\ \leq 1,0$	Baixa necessidade de calagem
$> 1,0\ e\ \leq 2,0$	Média necessidade de calagem
$> 2,0$	Alta necessidade de calagem

Fonte: Próprio autor, 2026.

Essas informações são fundamentais para subsidiar práticas de manejo localizado e aplicação em taxa variável, visando maior eficiência no uso de corretivos e melhor uniformidade química do solo.

4.5. Análise estatística descritiva dos dados

A análise estatística descritiva adotada foi utilizada para entender o comportamento geral dos valores das análises de solo do conjunto de amostras. Por meio de indicadores como valor mínimo, valor máximo, média e desvio-padrão, foi possível avaliar a variação, a distribuição e a consistência dos valores analisados. Essa etapa é fundamental para sintetizar as informações obtidas nas amostragens, permitindo identificar tendências centrais, amplitudes de variação e o grau de heterogeneidade dos dados, tanto na condição inicial do solo quanto após a correção da acidez.

Para a caracterização dos dados, foram calculadas as seguintes estatísticas descritivas:

- Valor mínimo: corresponde ao menor valor observado entre as amostras, representando a condição menos favorável do atributo analisado na área de estudo.
- Valor máximo: corresponde ao maior valor observado entre as amostras, o que indicou a condição mais favorável do atributo analisado.
- Média aritmética: representa a tendência central dos dados, permitindo identificar o comportamento médio do atributo avaliado e comparar sua evolução antes e após a aplicação do calcário.
- Desvio-padrão: expressa a dispersão dos valores em relação à média, sendo utilizado para avaliar a variabilidade dos atributos do solo. Valores baixos de desvio-padrão indicam maior homogeneidade entre as amostras, enquanto valores elevados refletem maior heterogeneidade e variabilidade espacial dos dados.

A utilização conjunta dessas estatísticas permitiu avaliar não apenas as alterações nos valores médios dos atributos químicos do solo decorrentes da aplicação do calcário, mas também os efeitos da correção sobre a uniformidade da fertilidade da área. Assim, foi possível verificar se a prática de calagem contribuiu para a redução da variabilidade dos atributos analisados e para a melhoria das condições químicas do solo, favorecendo um manejo mais eficiente e sustentável da área agrícola.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas as análises de solo para cada uma das 20 amostras compostas coletadas, antes e depois da aplicação de calcário.

Pela média, observa-se que o pH médio da área de estudo antes da aplicação era 5,90 e passou para 6,04 após a aplicação de calcário. A área apresentava amostras bastante heterogêneas com variação de 5,20 a 6,70 em pré-aplicação enquanto após a aplicação os valores mínimos e máximos foram 5,8 e 6,30.

A aplicação de calcário foi útil para reduzir a heterogeneidade da área, e é representada pelo desvio padrão que reduziu de 0,35 antes da aplicação para 0,14 pós-aplicação. Essa redução da heterogeneidade é um indicativo de que a calagem foi eficaz em neutralizar manchas de solo com acidez média, permitindo que a planta desenvolva um sistema radicular mais uniforme sem obstáculos químico (Richart *et al.*, 2015). Solos com pH entre 5,1 e 5,5 são considerados de média acidez, valores de 5,6 a 6,0 de baixa acidez, enquanto valores de 6,1 a 7

de muito baixa acidez (RONQUIM, 2010). Portanto, avaliando as análises pré e pós-aplicação, é possível notar que a calagem foi eficiente para eliminar solos com média acidez, o que consentiu a área com solos entre baixa e muito baixa acidez.

Outra análise importante que vale observar entre as análises pré e pós-aplicação é que o potencial médio de toxidade de alumínio reduziu pela metade. Ocasão em que, passar de 0,10 cmolc/dm³ para 0,05 cmolc/dm³, mostra que a aplicação de calcário corrigiu a acidez e reduziu o potencial de toxicidade de alumínio no solo. A redução do alumínio é crucial, pois minimiza a interferência desse elemento no alongamento celular radicular, favorecendo a absorção de nutrientes e a tolerância à secas (UBERTI *et al*, 2022).

Segundo Ronquim (2010), o pH fornece uma ideia geral das condições químicas do solo. Solos muito ácidos costumam apresentar baixa quantidade de bases como cálcio e magnésio, níveis elevados de alumínio tóxico, excesso de manganês, alta fixação de fósforo e deficiência de alguns micronutrientes. Além disso, o pH do solo reflete uma situação que envolve aspectos biológicos, físicos e químicos, por isso, considerar apenas seus efeitos químicos diretos sobre as raízes seria uma visão limitada.

O potássio (K) também possui uma grande variação, assim é mais significativa, começando de um mínimo de 140 mg/dm³, que é considerado baixo para maioria das culturas, e chegando ao máximo de 590 mg/dm³, considerado muito alto. O teor de Alumínio, está consideravelmente baixo, a saturação de bases - V% em alguns pontos está bem próximo do desejado. No entanto, a média das amostras mostra um valor abaixo do desejado, V% de 60,88% com o valor mínimo próximo a 40% e máximo ultrapassando 80%.

Embora o V% médio de 60,88% classifique o solo como eutrófico (RONQUIM, 2010), a manutenção do manejo é necessária para atingir níveis de saturação próximos a 70%, o que otimizará a CTC efetiva e aumentará a eficiência de retenção de cátions como o potássio, reduzindo perdas por lixiviação (GUARNIÇONI *et al.*, 2019). Solos com valores de V% de 70% e pH entre 5,8 e 6,3 são considerados ideais para a maioria das plantas (SILVA *et al.*, 2021).

Na Tabela 03 podemos identificar que o pH deste solo, está mais próximo da margem desejável para a maioria das culturas ficando entre 5,5 e 6,5. No potássio (K) ainda podemos notar algumas diferenças, porém nada que fique fora do comum. O Alumínio (Al) também ficou bastante satisfatório, porém o solo ainda contém cargas de hidrogênio (H⁺), e a capacidade de troca de cátions – CTC deste solo teve um aumento do valor mínimo e redução da variabilidade, dada pelo desvio padrão, em comparação a análise anterior.

De acordo com Ronquim (2010), se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como Ca, Mg e K, pode-se dizer que esse é um solo bom para a nutrição das plantas. Por outro lado, se grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H e Al este será um solo pobre. De forma geral, a CTC indica o quanto o solo é capaz de reter e disponibilizar nutrientes para as plantas (como Ca, Mg, K).

Quando a CTC não aumenta em relação à análise anterior, isso implica algumas possibilidades importantes: maior capacidade de reter nutrientes, melhor fertilidade potencial (RONQUIM, 2010).

Tabela 2 - Análise de solo realizada no dia 09/08/2024 antes da aplicação de calcário

RESULTADO DE ANÁLISE PRÉ-APLICACÃO										
Código	Descrição amostra	pH	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	T	V
		H ² O	mg/dm ³	cmolc/dm ³						%
1034	PIVO_01	6,10	210	4,30	1,03	0,00	2,58	5,87	8,45	69,46
1035	PIVO_02	6,00	260	3,94	0,97	0,00	3,22	5,57	8,79	63,39
1036	PIVO_03	5,70	155	3,42	0,95	0,10	3,97	4,77	8,74	54,56
1037	PIVO_04	5,90	230	3,71	1,06	0,00	3,48	5,36	8,84	60,63
1038	PIVO_05	5,50	160	2,82	0,70	0,70	4,44	3,93	8,37	46,95
1039	PIVO_06	5,60	185	2,98	0,74	0,40	4,49	4,19	8,68	48,29
1040	PIVO_07	5,70	470	2,98	1,03	0,00	3,76	5,21	8,97	58,09
1041	PIVO_08	5,80	375	3,57	0,97	0,00	3,56	5,50	9,06	60,70
1042	PIVO_09	6,00	140	4,81	1,26	0,00	3,15	6,43	9,58	67,11
1043	PIVO_10	6,20	255	5,39	1,16	0,00	2,73	7,20	9,93	72,51
1044	PIVO_11	6,10	195	4,70	0,89	0,00	3,08	6,09	9,17	66,41
1045	PIVO_12	5,70	315	2,68	0,81	0,10	4,34	4,30	8,64	49,74
1046	PIVO_13	5,80	260	3,61	1,05	0,00	4,15	5,32	9,47	56,20
1047	PIVO_14	6,00	215	4,74	1,40	0,00	3,29	6,69	9,98	67,03
1048	PIVO_15	6,40	245	2,11	1,05	0,00	2,44	3,79	6,23	60,81
1049	PIVO_16	5,90	380	3,40	1,17	0,00	3,72	5,54	9,26	59,84
1050	PIVO_17	5,40	255	2,04	0,75	0,60	5,86	3,44	9,30	37,00
1051	PIVO_18	5,20	285	3,67	1,11	0,00	3,80	5,51	9,31	59,18
1052	PIVO_19	6,30	295	6,73	1,30	0,00	2,61	8,78	11,39	77,09
1053	PIVO_20	6,70	590	7,06	1,31	0,00	2,09	9,88	11,97	82,54
Estatística Descritiva										
	Média	5,90	273,75	3,93	1,04	0,10	3,54	5,67	9,21	60,88
	Máximo	6,70	590,00	7,06	1,40	0,70	5,86	9,88	11,97	82,54
	Mínimo	5,20	140,00	2,04	0,70	0,00	2,09	3,44	6,23	37,00
	Desvio padrão	0,35	110,67	1,34	0,20	0,21	0,88	1,60	1,15	10,70

*SB=Soma de Bases (K, Ca, Mg, Al+H), T=Capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases

Fonte: Próprio autor, 2026.

Tabela 3 - Análise de solo realizada no dia 11/02/2025 após da aplicação de calcário

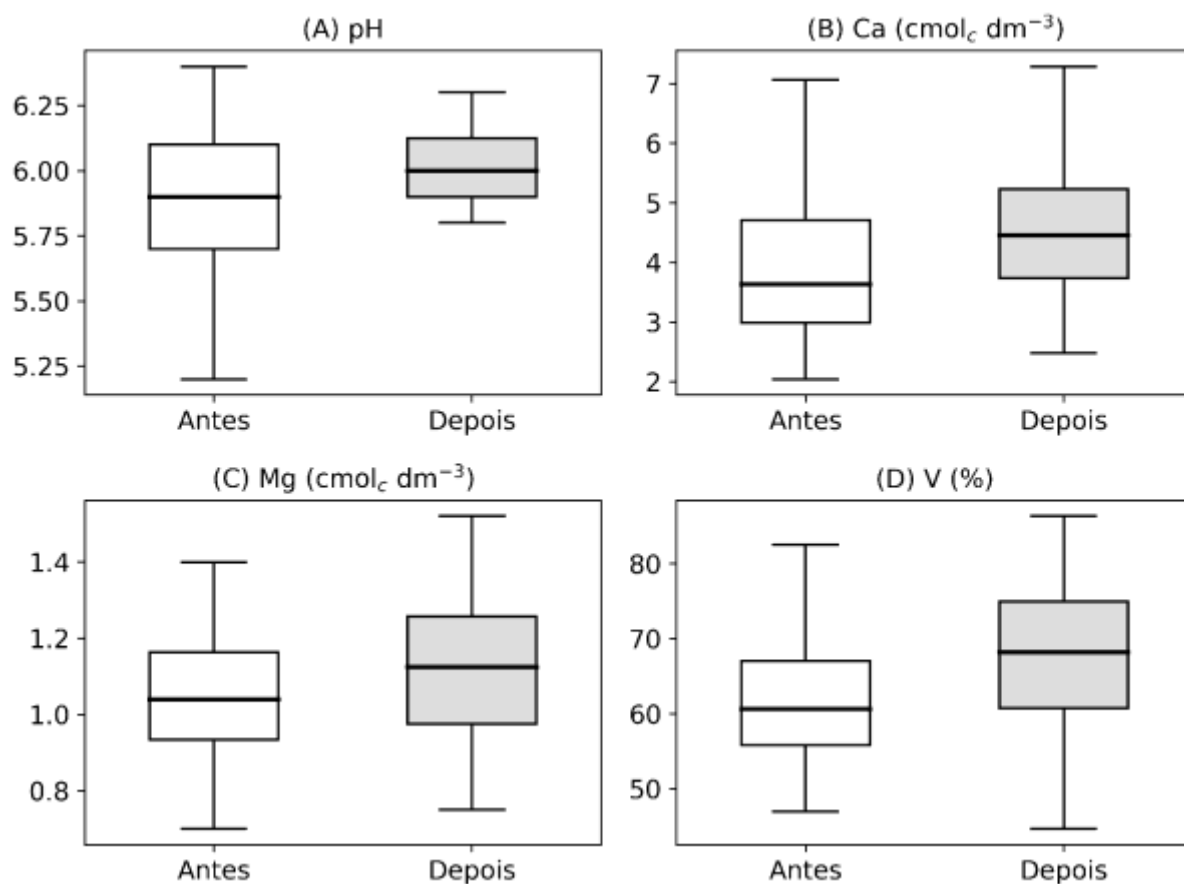
RESULTADO DE ANÁLISE PÓS-APLICACÃO										
Cód.	Descrição Amostra	pH	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	T	V
		H ² O	mg/dm ³	cmolc/dm ³						%
41	PIVO_01	6,10	150	5,08	1,08	0,00	2,21	6,54	8,75	74,75
42	PIVO_02	6,20	168	7,19	0,85	0,00	1,34	8,47	9,81	86,34
43	PIVO_03	6,30	154	4,39	1,10	0,00	2,33	5,88	8,21	71,63
44	PIVO_04	6,20	178	4,52	1,28	0,00	2,79	6,26	9,05	69,16
45	PIVO_05	5,90	136	3,29	0,89	0,40	3,89	4,53	8,42	53,79
46	PIVO_06	5,80	106	2,48	0,75	0,50	4,34	3,50	7,84	44,65
47	PIVO_07	5,90	320	3,76	1,19	0,00	3,18	5,77	8,95	64,46
48	PIVO_08	5,90	210	3,65	0,88	0,00	3,97	5,07	9,04	56,07
49	PIVO_09	5,90	122	4,87	1,33	0,00	2,79	6,51	9,30	70,01
50	PIVO_10	6,00	184	6,35	1,25	0,00	2,36	8,07	10,43	77,37
51	PIVO_11	6,20	142	5,35	1,22	0,00	2,23	6,93	9,16	75,66
52	PIVO_12	6,00	240	3,15	0,99	0,00	3,52	4,75	8,27	57,46
53	PIVO_13	6,00	176	3,89	1,08	0,00	3,29	5,42	8,71	62,23
54	PIVO_14	6,00	132	4,74	1,52	0,00	3,22	6,60	9,82	67,20
55	PIVO_15	6,20	194	5,50	1,17	0,00	2,33	7,17	9,50	75,46
56	PIVO_16	6,10	290	4,20	1,15	0,00	3,11	6,09	9,20	66,20
57	PIVO_17	5,90	196	2,94	0,93	0,10	4,39	4,37	8,76	49,89
58	PIVO_18	5,90	280	3,93	1,32	0,00	3,69	5,97	9,66	61,79
59	PIVO_19	6,10	192	7,29	1,30	0,00	2,28	9,08	11,36	79,93
60	PIVO_20	6,10	220	5,19	1,10	0,00	2,49	6,85	9,34	73,35
Estatística Descritiva										
	Média	6,04	189,50	4,59	1,12	0,05	2,99	6,19	9,18	66,87
	Máximo	6,30	320,00	7,29	1,52	0,50	4,39	9,08	11,36	86,34
	Mínimo	5,80	106,00	2,48	0,75	0,00	1,34	3,50	7,84	44,65
	Desvio padrão	0,14	57,52	1,32	0,19	0,14	0,81	1,40	0,80	10,67

*SB=Soma de Bases (K, Ca, Mg, Al+H), T=Capacidade de troca de cátions, V= saturação por bases

Fonte: Próprio autor, 2026.

Para complementar a análise anterior, na Figura 5 são apresentados os boxplots dos atributos pH (A), Ca (B), Mg (C) e V (D) antes e após a aplicação de calcário. Observa-se uma tendência de aumento dos teores de Ca e Mg, da saturação por bases (V%) e do pH do solo após a calagem, indicada pelo deslocamento das medianas para valores mais elevados. De modo geral, os resultados sugerem uma melhoria das condições químicas do solo após a aplicação do corretivo. pH (A), Ca (B), Mg (C) e saturação por bases (V%) (D) antes e após a aplicação de calcário em 20 pontos amostrais. As caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha horizontal no interior das caixas representa a mediana e os bigodes correspondem aos limites de 1,5 vezes a amplitude interquartil.

Figura 5 - Boxplots dos atributos químicos do solo



Fonte: Próprio autor, 2026.

5.1. Análise espacial da necessidade de calagem

A análise geoestatística da necessidade de calagem permitiu observar a variabilidade espacial antes e após a aplicação do calcário. Nas duas situações, o modelo esférico apresentou o melhor ajuste dos dados, pois no caso indicou que a semivariância aumentou gradativamente com a distância entre as amostras até atingir um patamar de estabilidade.

Antes da aplicação do calcário, o efeito pepita (C_0) foi de 1,18, indicando a existência de uma parcela da variabilidade não explicada pela estrutura espacial, possivelmente relacionada à variabilidade, às limitações do espaçamento amostral ou erros no processo de amostragem e análise laboratorial. O patamar ($C_0 + C_1$) foi de 1,73, representando a variabilidade total da necessidade de calagem na área experimental.

Após a aplicação do calcário, observou-se redução do efeito pepita para 0,65, indicando diminuição da variabilidade aleatória dos dados e maior uniformidade espacial da área. O

patamar também foi reduzido para 1,11, demonstrando menor variabilidade total da necessidade de calagem após a intervenção.

O alcance, estimado em 85 metros, indica que amostras localizadas dentro dessa distância apresentaram dependência espacial, ou seja, a necessidade de calagem observada em um ponto influenciou os valores dos pontos vizinhos. Esse resultado evidencia a existência de zonas de manejo bem definidas antes da correção do solo, justificando a adoção de técnicas de agricultura de precisão para a recomendação localizada de corretivos.

Após a correção do solo o alcance indica que a influência espacial entre as amostras ocorreu em uma distância menor em comparação à condição inicial. Esse comportamento sugere que a aplicação do corretivo promoveu maior homogeneidade química do solo, reduzindo a extensão das zonas com elevada variabilidade da necessidade de calagem.

Tabela 4 - Análise geoestatística

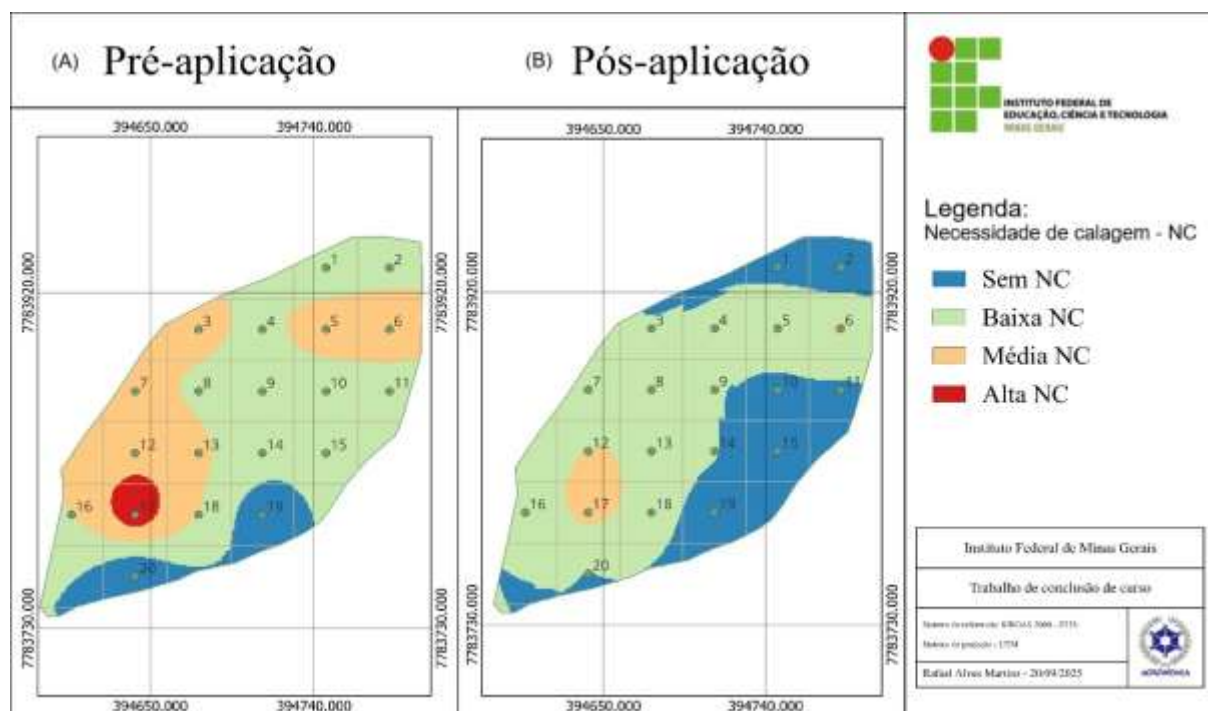
Parâmetros	Valor pré-aplicação	Valor pós-aplicação
Efeito pepita	1,18	0,65
Patamar ($C_0 + C_1$)	1,73	1,11
Alcance	85 metros	60 metros
Patamar	Esférico	Esférico

Fonte: Próprio autor, 2026.

Na Figura 6A é apresentado o mapa de necessidade de calagem interpolado pré aplicação, enquanto na Figura 6B é apresentado o mapa da pós-aplicação de calcário. Pode-se observar uma variação entre os pontos sobre necessidade de calagem (NC) deste solo precisa, de acordo com as amostras, notando que em alguns pontos a exigência é maior que em outros.

Ao comparar as Figuras 6A e 6B é possível verificar que a aplicação de calcário a uma taxa constante de 2ton/ha levou a correção satisfatória em parte da área, enquanto regiões com maior necessidade permaneceram insuficientemente corrigidas.

Figura 6 - Mapas de necessidade de calagem interpolado representando a necessidade de calagem pré-aplicação (A) e pós-aplicação de calcário (B)



Fonte: Próprio autor, 2026.

Neste mapa (Figura 6B) que foi gerado com os dados das análises coletadas após 90 dias em que o calcário foi aplicado, podemos visualizar que foi feita uma correção satisfatória na área, porém em alguns pontos como nos pontos 6, 12 e 17 houve uma variação maior, indicando áreas que ainda seria necessária a aplicação de uma determinada quantidade de calcário.

Uma das hipóteses para que esses pontos ainda tenham ficado com média NC é que a aplicação em taxa constante não atende aos princípios da agricultura de precisão. Regiões do solo que contêm formigueiros, por exemplo, alteram a distribuição do solo, dessa forma, o solo pode não receber o calcário adequadamente. Eles também criam áreas com solo revolvido, mais arenoso e menos compacto, dificultando a uniformidade da aplicação. Além disso, o formigueiro pode mudar a umidade e a temperatura do solo, o que afeta a reação do calcário.

Isso mostra que a taxa de aplicação variável seria muito importante para aplicar uma quantidade maior de calcário em áreas específicas que apresentavam diferentes necessidades, e evitar aplicação em regiões sem NC.

Por fim, a fim de comparar o percentual de área corrigido em cada classe, a Tabela 05 apresenta esse comparativo por classe.

Tabela 5 - Comparativo de áreas antes e depois da aplicação de calcário

Necessidade de calagem – NC (t/ha)	Classe	Área – Antes aplicação (m²)	% da área – antes	Área – depois aplicação (m²)	% da área – depois
< = 0,0	Sem NC	2651	9,96	8861	33,29
0,0 – 1,0	Baixa NC	14227	53,45	16635	62,49
1,0 – 2,0	Média NC	9128	34,29	1123	4,22
> 2,1	Alta NC	613	2,30	0	0
Total		26619	100	26619	100

Fonte: Próprio autor, 2026.

Observa-se que, na área sem necessidade de aplicação (Sem NC) aumentou de 9,96% para uma área de 33,29%, corrigindo uma área de 6210m², na área em que foi exigido entre 0,0 e 1,0 t/há (Baixa NC) o percentual da área foi de 53,455 para 62,495, também teve um aumento significativo de 2408m². Na área onde seria necessário aplicar entre 1,0 e 2,0 (t ha⁻¹), que tinha uma exigência maior de calcário, foi corrigida mudando de uma área deficiente com 34,29%, para uma área deficiente com apenas 4,22%, corrigindo uma área de 8002m². Após a aplicação de calagem, nenhuma área apresentou alta NC.

As áreas que não foram devidamente corrigidas, foram devido ao fato de uma maior necessidade de calcário, neste caso, como foi aplicado 2 toneladas por ha, onde deveria ser aplicado uma quantidade maior que 2,1 (t ha⁻¹), resultando em aplicação insuficiente. Outro fator a se considerar é a capacidade tamponante do solo, que em alguns casos, devido a quantidade de argila do solo, pode ter a necessidade de uma quantidade maior de calcário. A incorporação e falhas mecânicas como regulagens dos implementos, coleta das amostras, erros de laboratório, são aspectos que devem ser levados em consideração.

Vale também ressaltar que, as necessidades de calcário para corrigir a acidez do solo variam de acordo com a cultura em que se quer estabelecer e com o grau de tecnologia adotado. Sistemas intensivos que adotam adubação e irrigação exigem calagem para atingir 70% de saturação de base (V2), enquanto os sistemas menos tecnificados permitem que se trabalhe com V2 de 40%. Isso reforça a necessidade da análise de solo anual e da sua correta interpretação por um técnico experiente, que também vai levar em conta o sistema de manejo e a capacidade de produção da cultura (MARTINS, 2005).

Áreas que não foram devidamente corrigidas continuarão limitando a disponibilidade de nutrientes (Ca, Mg) e, conseqüentemente, a produtividade, conforme estabelece a Lei do Mínimo, segundo a qual o nutriente em menor disponibilidade determina o potencial produtivo.

A aplicação uniforme de calcário é mais simples, mas pode ter menor eficiência, pois será aplicada a mesma quantidade em toda área, desperdiçando insumo onde não era necessário ou gerando doses menores que o necessário. No presente estudo 2651 m² não tinham necessidade de calagem, ou seja, quase 10% da área de estudo. Ainda, mais de 50% da área tinha uma necessidade menor de que 2ton/há o que indica que, apesar dessas áreas terem sido corrigidas, foi aplicada uma quantidade maior que a necessária de calcário. Isso eleva custos na produção. O manejo ou aplicação em taxa variável é recomendado, pois tem melhor meio de aproveitamento de insumo, ganhos ambientais, potencial de aumento de produtividade.

6. CONCLUSÃO

Com este trabalho conclui-se que, apesar das dificuldades de se fazer uma aplicação de calcário em taxa variável, tal manejo pode sim trazer uma economia para o produtor, evitando gastos desnecessários com corretivos agrícolas, efetuando as aplicações em áreas que realmente necessitam de correção e pode evitar desperdícios em áreas que não necessitam de correção.

A aplicação uniforme de 2 (t ha⁻¹), embora tenha proporcionado correção parcial, não atendeu totalmente às variações espaciais de necessidade do solo. Os resultados reforçam a importância do manejo de taxa variável fundamentado em mapas de necessidade bem amostrados e em procedimentos operacionais controlados.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 31 p

BRUM, L.N. **Estratégias de correção da acidez e modos de aplicação de fósforo e potássio**: Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do sul, 2023.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. D.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/> Acesso em: 07 de julho de 2026.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Embrapa, 2014. 248 p. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/988805/1/500P-Geotecnologias-e-geoinformacao-ed01-2014.pdf> Acesso em: 23 de maio de 2025.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2016. (Sistema de Produção, 23).

GREGO, C. R. et al. **Tecnologias desenvolvidas em Agricultura de Precisão**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126264/tecnologias-desenvolvidas-em-agricultura-de-precisao> Acesso em 22 de maio de 2025.

GUARÇONI, A.; FAVARATO, L. F.; STIPP, S. R.; CASARIN, V. Manejo da fertilidade do solo para uma produção agropecuária mais sustentável. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 10, p. 22–42, jan./dez. 2019

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução ao Geoprocessamento**. 2006. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html Acesso em: 10 de maio 2025.

LAMPARELLI, R. A. C. **Cana: Agricultura de precisão**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao> Acesso em: 22 de maio de 2024.

MARTINS, C.E. **Práticas agrícolas relacionadas à calagem do solo. Comunicado Técnico 47**, EMBRAPA. 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/595886/1/COT47Praticasagricolasrelacionadas.pdf> Acesso em: 05 de dez. de 2025.

MELO, M. P.; COSTA, K. S. de Q.; BOUSSE, G. P., VAZ, C. F. A Importância da agricultura de precisão para a eficiência da produção agrícola: uma revisão. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.17, n.5, p. 01-19, 2024. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.5-102> Acesso em: 10 de dez. de 2025

MÜLLER, T.; FELDMANN, N. A.; MÜHL, F. R. **Diagnóstico da fertilidade do solo de pequenas em propriedades nos municípios de Itapiranga e São João do Oeste**. Maranhão: Revista Inovação, 2022. v. 1.

OLIVEIRA, I. M. de; SANTI, A. L.; JUNGES, W. J.; FORNARI, A. Análise meta-analítica comparativa dos efeitos do calcário e do óxido de cálcio na correção de solos ácidos. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 24, n. 1, 2026. DOI: 10.55905/oelv24n1-139.

OYAMA, A. C.; MELO, B. M.; SANTOS JUNIOR, E. R.; PEDRASSOLI, J. C.; FANTIN, MARCEL. **Geoprocessamento popular para atuação comunitária. In: Simone Helena Tanoue Vizioli; Marcel Fantin. (Org.). Caminhos da região central paulista: articulação entre universidade e sociedade para a construção da cidadania e do desenvolvimento sustentável. Vol.1 Tecnologia, Cultura e Empreendedorismo. 2ed.São Carlos: USP, 2021, v. 2, p. 31-42.**

PIRES, J. L. F.; RESENDE, Á. V. de; BRANDÃO, Z. N. **Indicações metodológicas para a realização de ensaios on-farm no âmbito da Agricultura de Precisão**. In: PIRES, J. L. F.; BRANDÃO, Z. N. (ed.). Experimentação on-farm na agricultura de precisão. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1151361> Acesso em: 23 maio 2025.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. (Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

RICHART, A.; PICCIN, A. L.; KONOPATZKI, M. R. S.; et al. Análise espaço-temporal de atributos químicos do solo influenciados pela aplicação de calcário e de cloreto de potássio em taxa variável. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 4, p. 391–400, 2016. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v15n4p391-400.

RONQUIM, C. C. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 1. ed. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 30 p.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

SILVA, M. A. SOLER; SANTOS, A. B.; MACHADO, P. L. O. DE A. M., ALCANTARA, F. A. DE, SILVA, O. F. **Sistema de Cultivo: Fertilização do solo**. EMBRAPA. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-tropical/correcao-do-solo-e-adubacao/fertilizacao-do-solo> Acesso em: 23 de maio de 2025.

UBERTI, C. G.; LIMA, T. H de; GONÇALVES, L. da S.; SOARES, J. C. W. Variabilidade espaço-temporal da saturação por alumínio, numa catena de solos do Pampa: 6 anos de monitoramento. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (CONNECA), 2., 2022, on-line. *Anais do II Congresso Norte-Nordeste de Ciências Agrárias (On-line): resumo simples e expandido*. Triunfo, PE: **Editora Omnis Scientia**, 2022. v. 1. p. 129-132. DOI: 10.47094/978-65-5854-823-2.

ZONTA, J. H.; COSTA, A. G. F.; SOFFIATI, V. M.: Manejo e conservação do solo. 2022.. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/mamona/producao/tratos-culturais/manejo-e-conservacao-do-solo#:~:text=Entre%20estes%20procedimentos%20podem%20ser,calagem%20e%20a%20aduba%C3%A7%C3%A3o%20adequada> Acesso em: 23 de maio de 2025.