

ARTIGO 1. INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO NA APLICAÇÃO DE INSUMOS PARA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Análise conceitual de dados

1. Estrutura de dados:

X_i : coordenadas dos pontos amostrado de solo, as quais são fixas ou rede regular

Y_i : amostras de solo mesmo

pH

Ca: cálcio trocável

Mg: magnésio trocável

K: potássio trocável

P: fósforo disponível

V%: saturação por bases

Necessidade de calagem (t/Ha)

Necessidade de fosfato tripo (Kg/Ha)

2. Processo Subjacente: Quais são os locais que estão por acima e por abaixo das doses recomendadas de calcário e fósforo.

3. Objetivo científico: avaliar a necessidade de aplicação de calcário e fósforo no solo de forma ótima, com base na variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo.

4. Variável: Y_i

Covariáveis: pH, Ca, Mg, K, P, V%, necessidade de calagem, necessidade de fosfato tripo.

MODELO POSIVEL:

$$Y_i \sim N(s(x), \tau^2)$$



Onde $s(x)$ é o processo genérico para área toda amostrado e θ são os parâmetros.

RESUMO

A Agricultura de Precisão é uma ferramenta para a otimização da produção agrícola com o menor impacto possível, no entanto, áreas são entendidas como homogêneas, o que leva a cometer erros na aplicação de insumos, pois são atendidas as necessidades médias sem considerar as necessidades específicas de cada parte do campo.

Por exemplo, o atributo solo deve ser entendido como um elemento heterogêneo, que pode apresentar dependência espacial, que atua em diferentes escalas, proporcionando um caráter hierárquico para a estrutura de variação das propriedades no espaço. Por isso, autores sugerem quantificar a variabilidade espacial utilizando a geoestatística, porque conhecer os erros associados a um modelo permite avaliar a qualidade dos resultados e se estes atendem ao esperado e mapear os atributos do solo em questão é a base para gerar mapas de aplicação de insumos à taxa variável, o qual é o objetivo do presente trabalho, avaliar a necessidade de aplicação de calcário e fósforo baseado no comportamento espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho eutrófico de textura muito argilosa (LVef), segundo Embrapa, sob o cultivo de cana-de-açúcar na região de Jaboticabal, fazenda Santa Bárbara, município de Guariba, nordeste do estado de São Paulo.

As amostras de solo foram tomadas no cruzamento de uma malha fixa, com intervalos regulares de 50 m, perfazendo um total de 206 pontos em uma área de 42 ha. Cada ponto da malha foi estaqueado e georreferenciado com um GPS.

A coleta de solo foi realizada com um trado tipo holandesa de 0,05m de diâmetro na profundidade de 0,0 - 0,2 m em os 206 pontos. As amostras coletadas foram levadas ao laboratório e submetidas à análise química.

Para o cálculo da necessidade de calagem e adubação com P (fósforo), primeiro, os cálculos foram feitos considerando-se a área homogênea e segundo, considerando-se a variabilidade espacial da área.

Para o cálculo da necessidade de corretivo foi utilizada a fórmula que leva em consideração o nível de acidez atual do solo, a CTC e o nível de saturação por bases ideal da cultura, que no caso da cana-de-açúcar é de 60 %. Para efeito de cálculo o PRNT do calcário foi considerado 100 %. Para o cálculo da adubação de P foi utilizada uma tabela de adubação e, a produtividade esperada foi de 100 a 150 t ha⁻¹.

Os atributos químicos do solo foram submetidos à análise estatística descritiva (média, mediana, coeficiente de variação, assimetria e curtose e, tipo de distribuição dos dados) com o uso do pacote estatístico SAS. Posteriormente, foram realizadas análises geoestatísticas por meio da construção de semivariogramas com o programa GS⁺ e confecção dos mapas de Krigagem através do programa SURFER. Para a análise do grau de dependência espacial dos atributos, fizeram a seguinte classificação: foram considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que tinham um efeito pepita menor ou igual 25 % do patamar, moderada entre 25 % e 75 %, e fraca quando fora maior que 75 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O atributo V% mostrou normalidade, segundo o teste Kolmogorov-Smirnov, os coeficientes de assimetria encontrados para o trabalho foram próximos a zero para todos os atributos estudados, como mostra a tabela 1, demonstrando que todos os atributos envolvidos no estudo estavam próximos de ter uma distribuição normal e que os dados eram adequados para o uso da geoestatística. Também, estabeleceram que os valores de média e mediana para todas as variáveis, estavam próximos, mostrando distribuição simétrica e por tanto, normalidade. Além disso, os valores de coeficiente de variação foram, baixo para o pH, médios para V% e altos para os restantes dos atributos (Tabela 1).

Atributo	Média	Mediana	CV	Assimetria	Curtose	¹ d
pH	5,2	5,2	6,4	0,3	-0,3	0,09
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)	37,6	37,0	25,6	0,7	-0,3	0,09
Magnésio (mmol _c dm ⁻³)	12,3	12,0	25,0	0,3	-0,5	0,10
Fósforo (mg dm ⁻³)	26,4	26,0	32,1	0,4	-0,6	0,09
V%	59,3	59,8	16,9	-0,03	-0,8	0,06 ^{ns}
Necessidade de calagem (t ha ⁻¹)	1,10	1,14	43,2	0,5	0,4	0,17
Necessidade de superfosfato triplo (kg ha ⁻¹)	214,5	211,0	35,1	0,2	0,9	0,2

¹d = teste de normalidade, ^{ns}não-significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Os ajustes dos modelos de semivariogramas mostraram a existência da dependência espacial de todos os atributos (Tabela 2 e Figura 1).

Atributos	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C ₁)	Alcance (a)	C ₀ /(C ₀ +C ₁)
pH	Esférico	0,04	0,09	345	44
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)	Esférico	35,3	109,0	510	32
Magnésio (mmol _c dm ⁻³)	Esférico	4,9	9,9	473	50
Fósforo (mg dm ⁻³)	Esférico	17,8	49,1	633	36
V%	Exponencial	31,4	111,6	235	28
Necessidade de calagem (t ha ⁻¹)	Esférico	0,31	1,18	290	26
Necessidade de superfosfato triplo (kg ha ⁻¹)	Esférico	381	1835	100	21

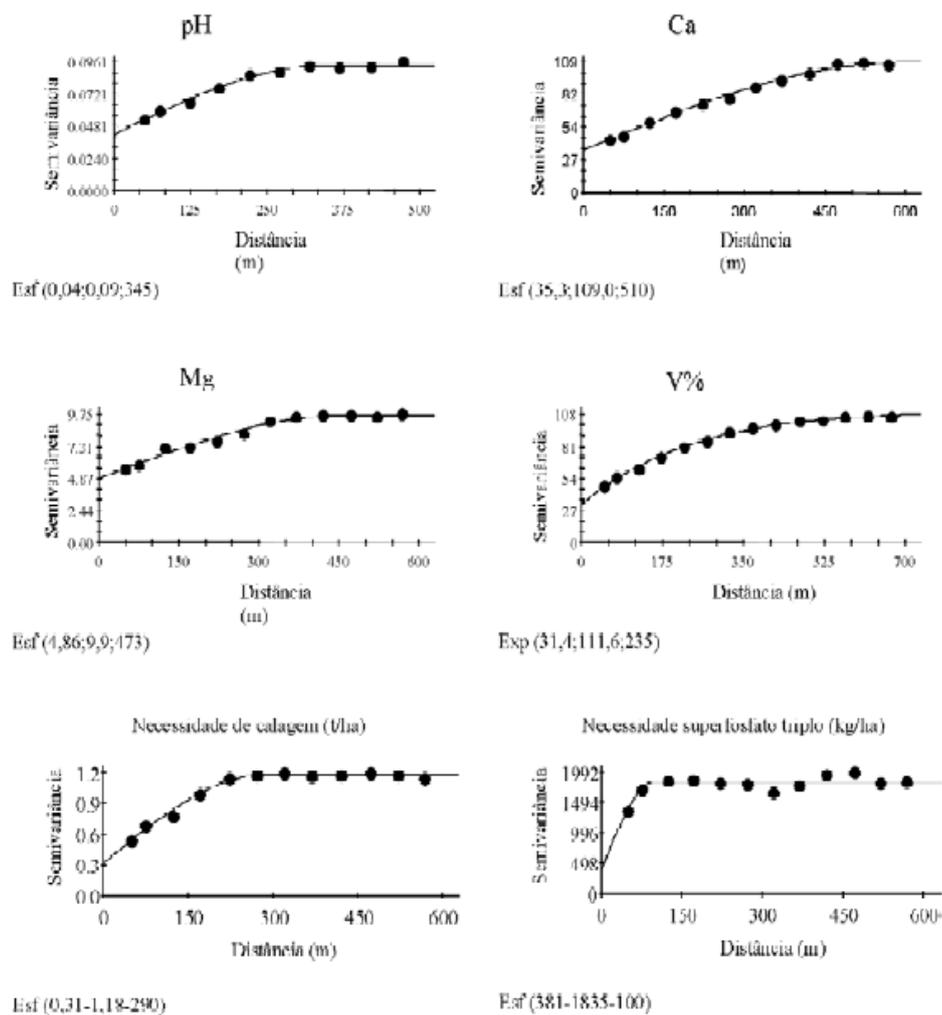


FIGURA 1 – Semivariogramas das variáveis pH, cálcio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), magnésio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) e saturação por bases (V%) na profundidade de 0,0-0,2 m e necessidade de calagem e superfosfato triplo. Esf e Exp ($C_0; C_0+C_1; a$) é o modelo esférico e exponencial ajustado, C_0 = efeito pepita; C_0+C_1 = patamar; a = alcance.

O modelo utilizado para o ajuste dos dados das variáveis estudadas foi o esférico, com a exceção da variável V%, o qual foi ajustado com o modelo exponencial. Segundo a literatura pesquisada pelos autores, os modelos esféricos e exponenciais são os modelos matemáticos mais utilizados nos estudos de solos. Este resultado contradiz o que foi discutido na sala de aula, acerca da utilização de estes modelos, os quais não são recomendáveis para ajustar dados geoespaciais, pois as suas superfícies não são diferenciáveis. No entanto, a escolha do modelo é arbitrária e precisa-se de conhecer muito bem os dados a modelar.

Os autores mencionam que o alcance fornece informações importantes para planejamento e avaliação experimental, para o estudo eles encontraram dois grupos de valores de alcance, variando de 350 a 650 m para pH, Ca, Mg e P e de 100 a 290 m para V%, necessidade de calagem e superfosfato triplo, mostrando uma descontinuidade estrutural das mesmas (tabela 2).

Todos os valores de alcance obtidos foram maiores que o valor de espaçamento entre as amostragens, segundo a literatura citada pelos autores, este permitiu que fossem feitas as interpolações por o método da krigagem, ou seja, as amostras estavam correlacionadas umas a outras.

Com estas informações, fizeram mapas de krigagem que forneceram informações para visualizar e entender o padrão espacial e assim, definir as zonas de manejo de uma área específica. Os mapas de krigagem mostraram uma semelhança nos padrões de ocorrência corroborando a existência de dependência espacial entre as variáveis de estudo, isso para os atributos pH, Ca, Mg e V%. Para o mapa espacial da necessidade de calagem, o comportamento foi inverso nas demais variáveis, pois a maiores teores de pH, Ca, Mg e V%, menores as necessidades de calagem. Figura 2.

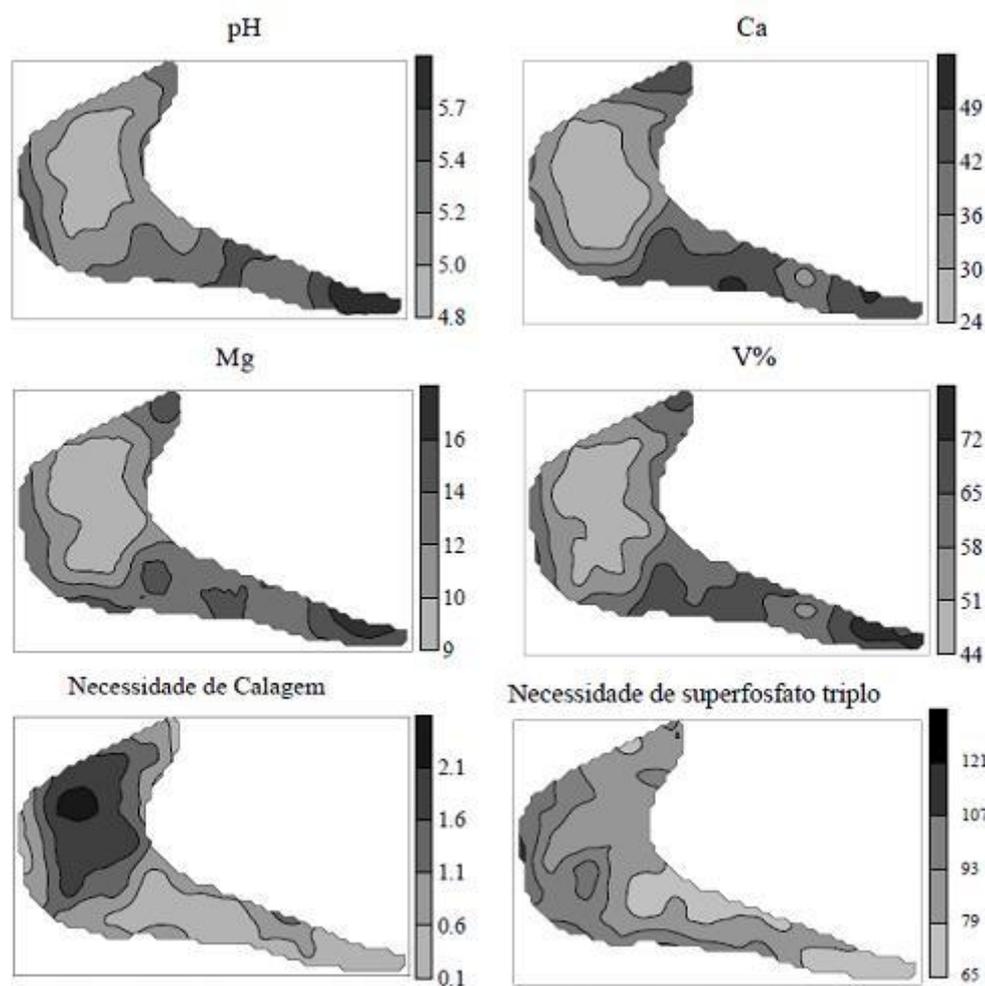


FIGURA 2 – Mapas de krigagem para o pH, Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), saturação por bases (%), necessidade de calagem (t ha^{-1}) e superfosfato triplo (kg ha^{-1}).

O estudo mostrou que se utilizando a krigagem média seria necessário aplicar ao solo $1,10 \text{ t ha}^{-1}$ de corretivo (PRNT igual a 100 %) e para o cálculo da necessidade de calagem, com o método convencional sem considerar a variabilidade espacial de atributos da acidez do solo, seria necessário aplicar $1,50 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário.

Para o atributo P, percebeu-se que as doses recomendadas para a aplicação de superfosfato triplo variaram de 65 a 120 kg ha⁻¹ quando levado em conta as particularidades de cada célula da área, e analisando o mapa de P, determino-se que só o 20 % da área necessita de apenas 80 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo o que levaria a uma grande economia no fertilizante.

Por tanto, os autores concluíram que o uso da técnica de geoestatística permitiu descrever com precisão os atributos do solo para a definição de zonas de manejo e com a visualização da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é possível fazer recomendações de doses de calcário e fósforo com taxas variadas, proporcionando economia e eficiência na aplicação.