



INFLUÊNCIA DO GRID AMOSTRAL PARA RECOMENDAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM EM SOLOS DO CERRADO SUL- MATOGROSSENSE

INFLUENCIA DE LA CUADRÍCULA DE MUESTREO PARA RECOMENDAR LA NECESIDAD DE ENCALADO EN SUELOS DEL CERRADO SUR- MATOGROSSENSE

INFLUENCE OF THE SAMPLING GRID TO RECOMMEND THE NEED FOR LIMING IN SOILS IN THE SOUTH-MATOGROSSENSE CERRADO

Eduarda Alves Brexó¹; Lucrécia de Moura Mattos²; Gabriel de Alencar Ferreira³ Mauro Lima⁴; Grazieli Suszek⁵

DOI :<https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0280>

RESUMO

Atualmente diversos manejos são realizados com o objetivo de aumentar a produtividade em uma lavoura, entre eles, um dos mais utilizados e de bastante importância é a calagem e adubação do solo, que tem por objetivo aumentar o pH do solo e disponibilizar os principais nutrientes para as plantas, para a realização destas duas operações é necessário uma análise de solo para determinar a quantidade necessária a ser aplicada tanto de calcário como de fertilizantes, a forma como se realiza a coleta é fundamental para obter resultados positivos após a aplicação dos insumos agrícolas. A coleta de solo dentro da agricultura de precisão vem se tornando um dos principais métodos utilizados para obter resultados mais representativos da área, se tornando assim vantajoso ao ser comparado aos demais métodos convencionais, na qual uma única análise representa todas as necessidades de uma área total, com isto o presente trabalho objetiva-se analisar a influência na utilização de grids amostrais para recomendação necessária de calagem em solos Sul-Matogrossense. A área de estudo possui 1 ha e está localizada no município de Nova Andradina, Mato Grosso do Sul, Brasil. Após as análises estatísticas, os mapas foram construídos utilizando o método inverso do quadrado da distância (IQD), que é um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas. Os mapas temáticos foram elaborados com 11, 23 e 48 pontos amostrais, em análise visual é possível observar que apresentam grandes diferenças entre eles. Ao comparar a região sudeste dos três mapas de variabilidade espacial a capacidade de troca de cátions nota-se grande diferença na forma de distribuição das cores de acordo com o número de pontos amostrais. Ao adicionar mais pontos amostrais para elaboração dos mapas temáticos da área é possível observar melhor representatividade da variabilidade espacial. Os mapas de necessidade de calagem (NC) foram os que mais apresentaram diferenças na variabilidade espacial em relação a quantidade de pontos amostrais. O mapa temático com 48 pontos amostrais foi o que melhor representou a variação da NC ao longo da área.

Palavras-Chave: Agricultura Precisão, Grid, Variabilidade Espacial, Calagem

¹ Bacharelado em Agronomia, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, dubrexo@gmail.com

² Bacharelado em Agronomia, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, lucrecia.mattos@estudante.ifms.edu.br

³ Bacharelado em Agronomia, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, g.a.ferreira327@gmail.com

⁴ Prof.º em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, mauro.lima@ifms.edu.br

⁵ Prof.ª Dr.ª em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, grazieli.suszek@ifms.edu.br

RESUMEN

Actualmente se realizan varios manejos con el objetivo de incrementar la productividad en un cultivo, entre ellos, uno de los más utilizados y de gran importancia es el encalado y fertilización del suelo, el cual tiene como objetivo aumentar el pH del suelo y aportar los principales nutrientes para las plantas, para llevar a cabo estas dos operaciones es necesario un análisis de suelo para determinar la cantidad necesaria a aplicar tanto de caliza como de fertilizantes. La recolección de suelo dentro de la agricultura de precisión se ha convertido en uno de los principales métodos utilizados para obtener resultados más representativos en el área, convirtiéndose así en ventajoso frente a otros métodos convencionales, en los cuales un solo análisis representa todas las necesidades de un área total, con esto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la influencia en el uso de rejillas de muestra para la recomendación necesaria de encalado en suelos en Sul-Matogrossense. El área de estudio tiene 1 ha y está ubicada en el municipio de Nova Andradina, Mato Grosso do Sul, Brasil. Después del análisis estadístico, los mapas se construyeron utilizando el método de la distancia al cuadrado inverso (IQD), que es un interpolador determinista univariante de promedios ponderados. Los mapas temáticos fueron elaborados con 11, 23 y 48 puntos de muestreo, en el análisis visual se puede observar que presentan grandes diferencias entre ellos. Al comparar la región sureste de los tres mapas de variabilidad espacial con la capacidad de intercambio catiónico, se puede observar una gran diferencia en la forma de distribución del color según el número de puntos de muestreo. Al agregar más puntos de muestreo para la elaboración de mapas temáticos de la zona, es posible observar una mejor representación de la variabilidad espacial, siendo los mapas de necesidad de encalado (NC) los que más diferencias presentaron en la variabilidad espacial en relación a la número de puntos de muestreo. El mapa temático con 48 puntos de muestreo fue el que mejor representó la variación del NC a lo largo del área.

Palabras Clave: Agricultura de precisión, cuadrícula, variabilidad espacial, encalado

ABSTRACT

Currently, several managements are carried out with the objective of increasing productivity in a crop, among them, one of the most used and of great importance is liming and soil fertilization, which aims to increase soil pH and provide the main nutrients for the plants, to carry out these two operations a soil analysis is necessary to determine the necessary amount to be applied both limestone and fertilizers. Soil collection within precision agriculture has become one of the main methods used to obtain more representative results in the area, thus becoming advantageous when compared to other conventional methods, in which a single analysis represents all the needs of a total area. , with this, the present work aims to analyze the influence on the use of sample grids for the necessary recommendation of liming in soils in Sul-Matogrossense. The study area has 1 ha and is located in the municipality of Nova Andradina, Mato Grosso do Sul, Brazil. After statistical analysis, maps were constructed using the inverse squared distance (IQD) method, which is a univariate deterministic interpolator of weighted averages. The thematic maps were elaborated with 11, 23 and 48 sampling points, in visual analysis it is possible to observe that they present great differences between them. When comparing the southeast region of the three maps of spatial variability to the cation exchange capacity, a great difference can be observed in the form of color distribution according to the number of sampling points. By adding more sampling points for the elaboration of thematic maps of the area, it is possible to observe a better representation of the spatial variability. The liming need maps (NC) were the ones that showed the most differences in spatial variability in relation to the number of sampling points. The thematic map with 48 sampling points was the one that best represented the NC variation along the area.

Keywords: Agriculture Precision, Grid, Spatial Variability, Liming

INTRODUÇÃO

A caracterização espacial das propriedades do solo requer a análise de muitos dados de campo, que podem ser coletados por meio de vários métodos diretos e indiretos, como amostragem e análise química, sensoriamento proximal e remoto e métodos geofísicos, sendo que esses dados produzem conjuntos de dados multivariados espaciais e temporais complexos, que geralmente têm diferentes taxas de cobertura e densidades espaciais (Bogunović et al., 2017, Behera et al., 2018).

Dentro do contexto de recomendação de fertilizantes e corretivos, a etapa fundamental para que um solo seja devidamente corrigido, são os processos adotados no momento da prática de coleta de amostra de solo. Portanto, no momento da escolha de metodologia a ser seguida a campo deve-se atentar para que o procedimento represente de forma adequada a área em que seja efetuado o manejo para a correção (ACQUA et al., 2013).

No contexto da amostragem de solo os processos devem ser feitos com cautela, pois dentro do processo de secagem de uma amostra de solo se não tomados os devidos cuidados as suas propriedades físicas podem ser realocadas e mudarem de seu lugar inicial, de acordo com CHELABI et al (2016), mostra que os teores de potássio trocável é inversamente proporcional ao teor de água da amostra no período em que está ocorrendo a secagem da amostra.

Em sua pesquisa DAUGHTREY et al. (1973) ressaltou a importância de um bom procedimento de coleta e secagem de amostra, pois notou-se que em uma temperatura acima de 100°C o elemento do solo Alumínio pode migrar de sua camada intermediária de argila para locais onde está a presença de troca de cátions, desta forma a análise e caracterização da amostra poderia apresentar diferença em seu resultado.

De acordo com NANNI et al. (2011), o tratamento do solo não deve ser feito de maneira uniforme, pois cada solo tem a sua propriedade individual, a elaboração de um grid amostral de solo, faz com que o conhecimento sobre o terreno de trabalho aumenta, desta forma o produtor consegue manejar diferentes cultivares ou diferentes métodos de aplicação de defensivos e insumos agrícolas.

Em sua pesquisa GOULDING (2016), discorreu sobre a aplicação excessiva ou indevida de insumos agrícolas no solo, realçando que essa prática de aplicação uniforme de produtos agrícolas acaba acarretando a acidificação do solo, resultando em uma indisponibilidade de nutrientes no solo, diminuição de cátions básicos e aumento na saturação do alumínio e com essas reações causadas pela acidificação do solo o rendimento da cultura também acaba decaindo.

As culturas com interesse comercial, apresentam diferentes tipos de PH desejados, sendo assim cada uma tem a sua particularidade e acidez do solo pode ser controlada com a deposição de produtos neutralizantes sobre o solo, tendo como exemplo o calcário. A variabilidade do solo deve ser reconhecida, pois tratando a área de uma maneira uniforme pode causar super calagem e indisponibilizar alguns nutrientes e interromper a absorção de outros (GOULDING, 2016).

Sendo assim efetuar um grid amostral de solo, possibilita o conhecimento da área em que será cultivada e trabalhada e desta forma uma quantidade menor de moléculas químicas é depositada ao solo, acarretando em um menor custo e maior eficiência, mas para que esse processo ocorra deve-se efetuar pesquisas que conscientize e incentive o produtor a adotar esse método de conhecimento sobre a sua área.

REFERENCIAL TEÓRICO

Vários manejos são realizados ao se preparar um solo para introduzir uma cultura com interesse comercial, a calagem está inserido entre os principais manejos realizados para se obter um solo com um pH adequado para o crescimento das raízes e para proporcionar uma boa disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento planta cultivada (ARRUDA et al., 2014).

A calagem é realizada através da aplicação de calcário no solo em cerca de 90 dias antes de realizar o plantio, porém para esta aplicação é necessário a realização de uma análise de solo para determinar a quantidade que será aplicado deste produto, sendo que este processo de coleta de solo é considerado por alguns autores a parte mais crítica e que mais acarretam problemas, resultando no final do processo em dados superestimado em relação a área e uma recomendação muito alta ou baixa demais na dosagem de calcário dentro da lavoura (ARRUDA et al., 2014).

Uma amostra coletada erroneamente em alguns casos não apresentam características nos dados em relação ao fato da recomendação não estar representando todos os talhões dentro da área onde será aplicado, por este motivo existem diversas recomendações de como deve ser realizado uma coleta ou amostragem de solo para ser submetida à análise de solo. Uma amostra coletada dentro da área, pode representar diversas dimensões dependendo da quantidade de subamostras que foram coletadas ao longo da lavoura (ARRUDA et al., 2014).

A coleta de solo utilizando o método mais convencional se caracteriza pelo fato que

deve ser realizado algumas subamostras dentro de uma área e ao final das coletas o solo deve ser misturado formando uma amostra completa que deve ser mandada para laboratório para análise, sendo que esta amostra pode representar vários hectare, realizando assim apenas uma recomendação de calagem para a área total da lavoura (CARDOSO et al, 2009).

O método mencionado anteriormente desconsidera as manchas em que a grande maioria dos solos possuem, superestimando a aplicação de calcário nessas áreas, além de aplicar pouco deste produto em áreas que possuem uma maior necessidade de correção de acidez, por este motivo ocorre aplicações ineficientes e que podem causar uma aplicação desnecessária em grande áreas dentro da propriedade, saindo do intuito atual da agricultura moderna que tem como objetivo obter uma maior eficiência e melhor aproveitamento de insumos que se encontra com preços mais elevados (CARDOSO et al, 2009).

Por se tratar de um manejo indispensável dentro da agricultura, a análise de solo deve ser feita de forma promissora e com uma qualidade pensando na representatividade da área, por este motivo Cardoso et al. (2009) descreveram a importância de separar as áreas em glebas mais homogêneas para realizar uma análise de solo, características como relevo, cor e textura do solo, manejos anteriores e entre outros aspectos devem ser levados em consideração nesta separação de glebas para compor uma análise de solo.

Atualmente, buscando-se uma grande eficiência dentro da agricultura devido a escassez na quantidade de terra disponível para plantio e a alta demanda para produção de alimento, várias tecnologias vêm sendo adotadas ao longo dos últimos anos para aumentar essa produtividade dentro da uma lavoura e dentro desses meios utilizados a agricultura de precisão vem se tornando frequente devido a demanda de um manejo mais especializado e que auxilia de forma positiva para um ganho na produção (SCALON, 2020).

A utilização da amostragem georreferenciada é uma das técnicas mais utilizadas atualmente na agricultura de precisão (AP), tendo em vista que este método gera alguns mapas que orienta em relação aos locais que precisam de mais ou menos calcário e fertilizantes, ressaltando que o método de amostragem consiste em pontos que terá uma proporcionalidade para toda a área delimitada (COLAÇO et al., 2014).

Estes mapas gerados possuem informações sobre a variação de uma informação dentro do talhão, por isso a coleta de dados é realizada dentro de pontos georreferenciados e pré determinados dentro do planejamento estabelecido, diferente do método convencional esta forma de análise deve se realizado amostras mais individuais, aumentando a quantidade de

amostras de solo ao longo da área, porém os dados trazem mais precisão e mais informações sobre a área que podem auxiliar na aplicação mais controlada e econômica, fazendo assim que o produtor conheça sua área e os locais com maior possibilidade de trazer problemas para a lavoura (COLAÇO et al., 2014).

Dentro do contexto de amostragem de solo na agricultura de precisão, existem dois métodos principais que podem ser adotados para formar os grids amostrais, o primeiro é através da realização de uma amostragem por célula ou pontos predeterminados que cobrem todo a área de trabalho, já o segundo método existe uma correlação com outros dados que o produtor já possui dentro da propriedade, por exemplo, um mapa de produção, na qual mostra a intensidade de produtividade da safra anterior, agrupando assim áreas que possuem uma produtividade parecidas formando um grid amostral, ressaltando que ambos os métodos devem ser realizado o georreferenciamento dos grids amostrais criados, para posteriormente conseguir montar um mapa das necessidades particulares de cada área (COLAÇO et al., 2014; SANTI et al., 2016).

A amostragem de solo através de coletas por pontos ou células é a técnica mais popular no Brasil atualmente, sendo a área dividida em vários polímeros regulares considerados pontos de coletas, na qual eles devem ser georreferenciados através da utilização de algum receptor que localiza o ponto geográfico do local (SANTI et al., 2016).

Existem uma grande variedade de tamanhos de grids amostrais que são utilizados em diversos tipos de área, esta determinação é considerado atualmente uma das maiores problemáticas dentro da amostragem de solo na agricultura de precisão (MENDES, 2020). Santi et al. (2016) discutiu em seu trabalho que tamanhos menores de uma malha amostral possuem uma maior qualidade quando se comparado a uma malha grande que apresenta como resultado poucas diferenças ao longo da área.

Os equipamentos utilizados para a coleta do solo dentro da agricultura de precisão são os mesmo utilizados para uma coleta no sistema convencional, podendo assim ter auxílio, por exemplo, de um trado holandês ou de rosca, tanto de forma manual como mecanizada, lembrando que existe ainda a necessidade de retirar algumas subamostras dentro de cada grid para formar uma amostra final por grid amostral (SANTI et al., 2016).

Quando comparado ao sistema convencional, a coleta de solo baseado na agricultura de precisão por sua vez acaba sendo questionada em relação ao custo que os produtores têm que pagar em uma maior quantidade de análises dentro de uma mesma área, na qual seria

realizado apenas uma, porém atualmente também a eficiência de fazer apenas uma análise de solo para uma área muito extensa vem sendo questionado pelo fato de não representar realmente a necessidade de calagem e adubação, mesmo em uma área de dez hectares, as necessidades dela não ocorre de uniforme, pelo fato do solo não ser uma camada totalmente uniforme, com isso é possível encontrar diversas manchas no solo que pode até mesmo mudar o tipo de solo em uma curta distância (argiloso ou arenoso), quem dirá então em relação às necessidades tanto na aplicação de calcário como dos macro e micronutrientes (CANEPPELE, 2016).

METODOLOGIA

Áreas de estudo

A área de estudo possui 1 ha e está localizada no município de Nova Andradina, Mato Grosso do Sul, Brasil (22° 4'56.46"S; 53°28'8.43"O) (Figura 1). Os pontos limítrofes da área foram obtidos por meio do uso de GPS topográfico. O clima do local é caracterizado como tropical Aw clima megatérmico com estação invernal pouco definida ou ausente, concentração de chuvas nos meses de verão e secas no inverno segundo classificação de Köppen.

A área foi utilizada para pastagem rotacional (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) por muitos anos. Durante o ano de 2019, a área passou a ser preparada para conversão em sistema de plantio direto, onde metade da área foi trabalhada com cultura do girassol e a outra metade permaneceu pastagem, apresentando boa produtividade e boa qualidade de grãos. Já em 2020 devido à pandemia a área permaneceu em pousio, com retorno da pastagem, devido ao seu rico banco de sementes e em 2021 toda área foi implantada com Girassol.

Nas duas análises de solo realizadas na área, verificou-se um solo com 88,7% de areia, 1,39% de silte e 9,91% de argila.

Figura 01: Localização da área experimental agrícola Nova Andradina/MS - Brasil.



Fonte: Própria (2022)

Amostragem do solo

A amostragem do solo físico-química foi realizada em outubro de 2021, respeitando um grid amostral, baseado nas características da área, onde foram coletadas 48 amostras compostas da camada de profundidade de 0,0-0,20 m (Figura 2). Cada amostra foi composta por seis subamostras coletadas com um trado do tipo holandes em um raio de 3 m (Figura 3), com a finalidade de caracterização do solo.

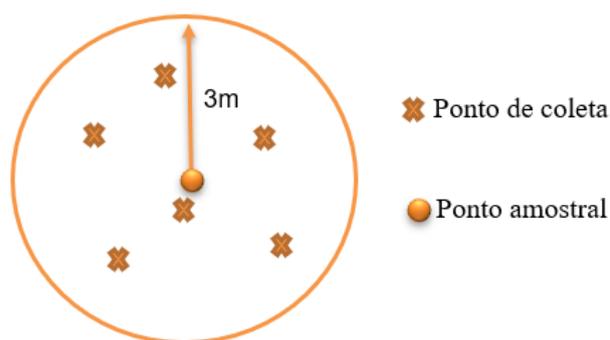
Figura 02: Coleta de amostras de solo ano de 2021, na área amostral do IFMS-Campus de Nova Andradina/MS-

Brasil.



Fonte: Própria (2021)

Figura 03 Esquema de amostragem de solo com seis subamostras para formar uma amostra composta



Fonte: Própria (2021)

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando o software Minitab 18® para obtenção das medidas de posição (média e mediana), medida de dispersão (desvio-padrão) e medidas de forma da distribuição (coeficiente de variação), avaliado conforme descrito por Gomes (2000). Além disso, também serão realizadas análises de correlação linear de Pearson e teste de normalidade de Anderson Darling e Kolmogorov Smirnov (5% de significância).

Para a ocorrência de outliers univariados, as análises exploratórias serão realizadas utilizando-se box-plots e histogramas. Quando uma observação exterior potencial for

identificada, ela será analisada em seu contexto espacial, e tomada a decisão quanto a sua exclusão.

Construção dos Mapas de variabilidade espacial

Após as análises estatísticas, os mapas foram construídos utilizando o método inverso do quadrado da distância (IQD), que é um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas. De acordo com este método, quanto mais distante um ponto observado estiver do estimado, menor será seu peso, ou seja, menor será sua influência sobre o valor de inferência. O IQD é definido pela equação 1:

$$\hat{Z}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} * Z_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (1)$$

em que: \hat{Z}_i é o valor interpolado; Z_i é o valor do atributo amostrado; d_i é a distância euclidiana entre o ponto amostrado e o estimado.

A avaliação da precisão dos interpoladores foi realizada através da análise das estatísticas: coeficiente de determinação da validação cruzada (R^2_{vc}), erro médio absoluto (EMA) e erro médio relativo (EMR). Os erros médios absoluto e relativo foram estimados através das equações 2 e 3, respectivamente:

$$EMA = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n |Z_i - \hat{Z}_i| * 100 \quad (2)$$

$$EMR = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{|Z_i - \hat{Z}_i|}{Z_i} * 100 \quad (3)$$

em que: EMA e EMR são, respectivamente, os erros médios absoluto e relativo dos n pontos amostrados; Z_i é o valor determinado na análise de solo do atributo no ponto amostrado; \hat{Z}_i é o valor estimado pelo método de interpolação.

A significância do R^2_{vc} foi analisada através do teste F ($P < 0,01$), entre o valor

observado e o estimado pelo método de interpolação. As estatísticas referentes aos erros da estimativa foram comparadas pelo teste t-Student ($P < 0,05$), permitindo analisar a ocorrência de diferença significativa entre os métodos de inferências.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 01 pode-se observar a análise químico-física do solo, coletada na área de estudo. As informações contidas na análise de solo foram utilizadas como base para os cálculos de saturação por bases e necessidade de calagem. A partir dos valores encontrados foram elaborados os mapas temáticos com diferentes grids amostrais.

Tabela 01: Análise estatística descritiva dos atributos do solo.

	<i>Média</i>	<i>Med.</i>	<i>DP</i>	<i>Var.</i>	<i>Mín.</i>	<i>Máx.</i>	<i>CV</i>
<i>pH SMP</i>	7,09	7,09	0,15	0,02	6,63	7,37	2,1
<i>pH CaCl2</i>	4,78	4,80	0,27	0,07	4,20	5,60	5,6
<i>M,O</i>	9,92	9,96	0,84	0,71	8,33	12,02	8,5
<i>K (mg/dm-3)</i>	37,38	37,50	12,06	145,52	19,00	72,00	32,3
<i>Ca (mmolc/dm-3)</i>	5,72	5,75	1,82	3,30	2,50	9,80	31,8
<i>Mg (mmolc/dm-3)</i>	3,52	3,55	1,11	1,24	1,40	6,00	31,7
<i>Al (mmolc/dm-3)</i>	1,21	0,70	1,30	1,70	0	6,10	108,0
<i>SB (mmolc/dm-3)</i>	10,20	10,15	3,00	9,00	4,80	16,80	29,4
<i>CTC</i>	27,81	27,20	2,25	5,08	24,00	33,60	8,1
<i>SB</i>	36,57	37,28	9,65	93,17	14,46	53,93	26,4
<i>S (mg/dm-3)</i>	2,54	2,30	1,19	1,41	0,90	7,00	46,7
<i>B(mgdm-3)</i>	0,24	0,23	0,03	0,00	0,18	0,35	13,2
<i>Cu(mg/dm-3)</i>	0,42	0,40	0,05	0,00	0,30	0,50	12,5
<i>Fe(mg/dm-3)</i>	84,74	85,80	11,19	125,18	65,20	112,00	13,2
<i>Mn (mg/dm-3)</i>	15,58	14,80	3,17	10,06	8,70	25,20	20,4
<i>Zn(mg/dm-3)</i>	0,38	0,30	0,29	0,08	0,10	1,70	75,1
<i>Argila(g/Kg)</i>	85,15	85,00	7,04	49,62	64,00	103,00	8,3
<i>Silte(g/Kg)</i>	15,23	14,00	5,27	27,80	3,00	33,00	34,6
<i>Areia(g/Kg)</i>	899,63	900,00	6,21	38,62	884,00	912,00	0,7

*pH - potencial Hidrogeniônico; K - Potássio; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; Al - Alumínio; H + Al -Hidrogênio + Alumínio;

SB - Soma de bases; CTC - Capacidade de Troca de Cátions; MO - Matéria Orgânica; V % - Saturação de Bases; S -

Enxofre; B - Boro; Cu - Cobre; Fe - Ferro; Mn - Manganês; Zn - Zinco; Mín - Mínimo; Máx. - Máximo; Méd. - Média; D.P. -

Desvio padrão; Var. - Variação; C.V. - Coeficiente de variação.

Fonte: Própria (2021)

Os mapas temáticos foram elaborados com 11, 23 e 48 pontos amostrais, em análise visual é possível observar que apresentam grandes diferenças entre eles. Na Figura 04, são encontrados os mapas temáticos referentes à capacidade de troca de cátions (CTC) do solo. Os valores são dados de acordo com a escala de cor da legenda.

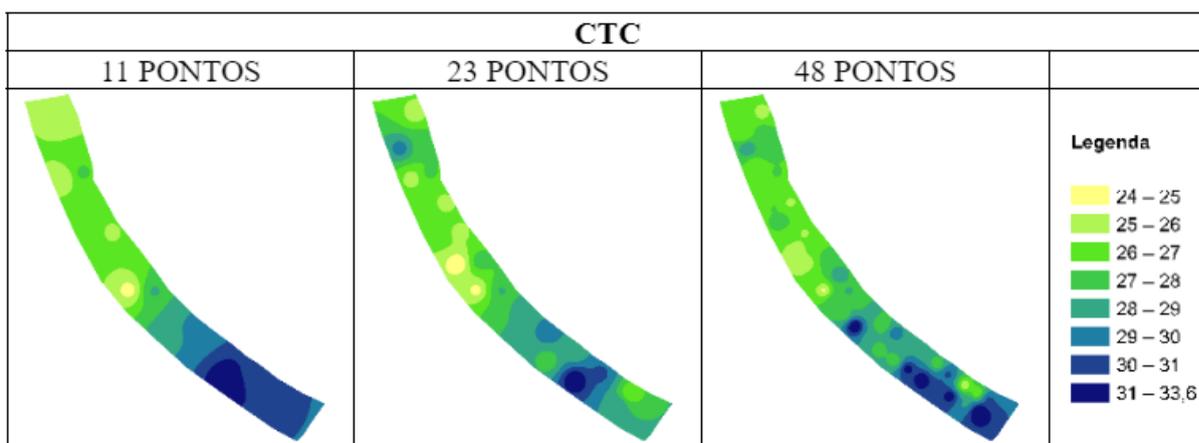
No primeiro mapa, com 11 pontos amostrais, a região com maior concentração de valores altos está localizada a sudeste da área, representada pela cor azul escuro. Na região norte da área a cor predominante é verde, representando valores intermediários. Percebe-se mudanças suaves na variabilidade espacial da CTC com grid amostral composto por 11 pontos.

Com grid amostral composto por 23 pontos, o mapa obtido apresenta maior riqueza de detalhes e maior variação ao longo da área. O mesmo fato ocorre quando a quantidade de pontos amostrais passa de 23 para 48, é possível analisar maior variabilidade espacial ao decorrer da área de pesquisa.

Pott et. al (2019) realizou o levantamento da variabilidade espacial de plantas daninhas em cultivo de trigo de acordo com diferentes malhas amostrais. Ao reduzir a malha amostral, conseqüentemente, aumenta a quantidade de pontos para coleta de dados e confecção dos mapas. De acordo com os resultados encontrados foi possível constatar que ao reduzir a malha amostral, houve um aumento na precisão da caracterização da variabilidade de plantas daninhas, encontrando resultados semelhantes aos deste trabalho.

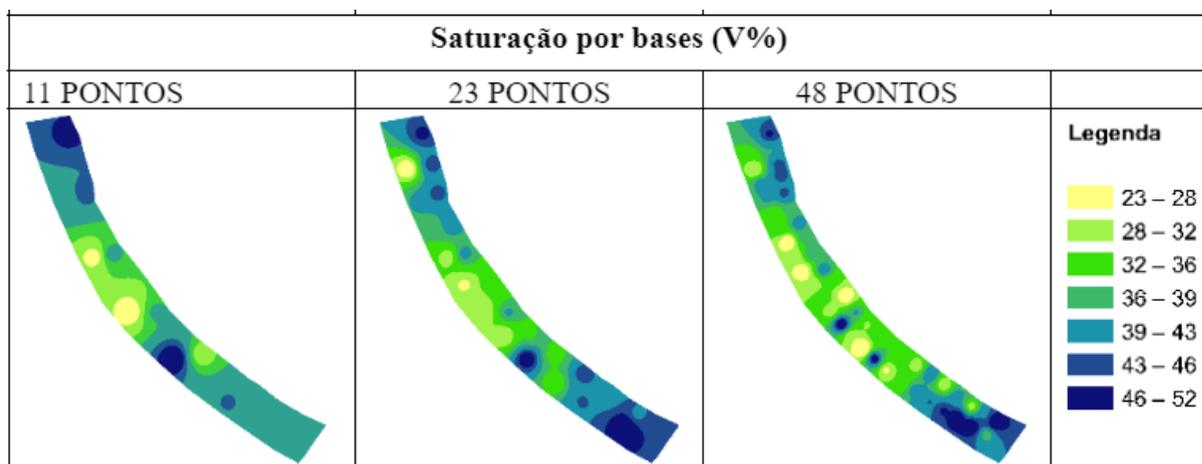
Ao comparar a região sudeste dos três mapas de variabilidade espacial a capacidade de troca de cátions (Figura 04) nota-se grande diferença na forma de distribuição das cores de acordo com o número de pontos amostrais. Ao adicionar mais pontos amostrais para elaboração dos mapas temáticos da área é possível observar melhor representatividade dos valores reais.

Figura 04: Mapas de variabilidade espacial da capacidade de troca de cátions do solo (CTC).



Fonte: Própria (2022)

Figura 05: Mapas de variabilidade espacial da saturação por bases do solo (V%)



Fonte: Própria (2022)

O mapa de variabilidade espacial da saturação por bases também apresenta diferenças na distribuição ao longo da área de acordo com a quantidade de pontos amostrais utilizados. O mapa elaborado com 48 pontos amostrais apresenta maior variabilidade espacial e grande quantidade de regiões bem definidas, enquanto o mapa elaborado com 11 pontos amostrais é caracterizado por uma maior suavidade entre os valores ao decorrer da área.

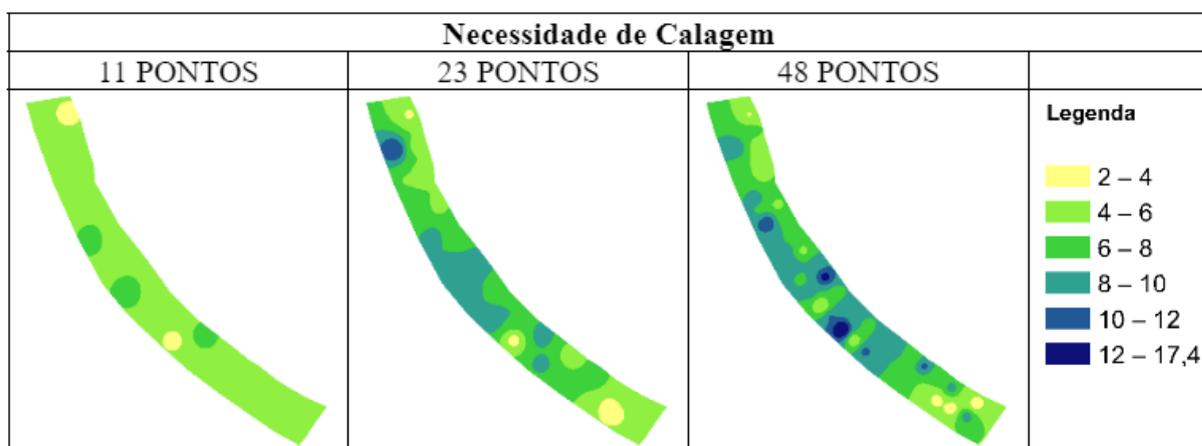
Silva (2020) ao estudar os atributos do solo utilizando ferramentas da geoestatística para recomendação de correção e adubação em taxa variável encontrou resultados satisfatórios. O mesmo buscou conhecer e modelar a variabilidade espacial de uma área para maximizar o setor e obter alto potencial produtivo. Em sua pesquisa, o grid amostral utilizado é de 50 pontos por ha, valor próximo ao encontrado neste trabalho como o de melhor

representatividade da área.

A calagem melhora a disponibilidade de nutrientes no solo e deve ser distribuída de acordo com a necessidade, valores superiores ou inferiores ao recomendado podem causar efeitos adversos na dinâmica de nutrientes. De acordo com Silva (2020) o manejo de forma localizada e levando em consideração a variabilidade espacial do solo é eficaz para obtenção de alto potencial produtivo em uma lavoura.

Os mapas de variabilidade espacial da necessidade de calagem (NC), apresentados na Figura 06, são os que melhor representam visualmente a influência da quantidade de pontos amostrais para elaboração dos mapas temáticos com objetivo de realizar manejos em taxa variável. No mapa composto por 11 pontos há maior uniformidade nos valores, oscilando em pontos muito específicos. Quando comparado com o mapa de 23 pontos, a área de estudo é dividida em maior número de regiões e maior variação dos valores.

Figura 06: Mapas de variabilidade espacial da necessidade de calagem (NC)



Fonte: Própria (2022)

Foi realizado análise do coeficiente de determinação da validação cruzada e erro padrão de estimativa para avaliação dos interpoladores usados, os dados estão representados na Tabela 02. Lundgren et al. (2017) em seu estudo com eucalipto analisou a precisão de estimativa de erro por meio da validação cruzada, que consiste em retirar um ponto do conjunto de dados e estimá-lo por meio do interpolador de dados. Ao repetir o procedimento com os demais pontos amostrais, deve-se comparar os valores estimados com os conhecidos. Os mesmos, obtiveram resultados satisfatórios das estimativas de erros com a VC.

Para a análise do quantitativo de amostras por ponto foram obtidos os parâmetros mais adequados da avaliação, por meio do maior coeficiente de determinação da validação cruzada (R^2_{vc}) e do menor erro padrão da estimativa (EP%). De acordo com Faraco et al. (2008), isso possibilita confeccionar os mapas temáticos com maior acuracidade.

Tabela 02: Coeficiente de determinação da validação cruzada e erro padrão da estimativa.

<i>Validação Cruzada</i>		
	R^2_{vc}	EP%
CTC		
11 pontos	0,035	1,70
23 pontos	0,011	1,85
48 pontos	-0,013	2,02
V%		
11 pontos	-0,475	8,69
23 pontos	-0,285	9,12
48 pontos	-0,027	9,96
Necessidade de Calagem (NC)		
11 pontos	0,147	2,67
23 pontos	0,032	2,78
48 pontos	0,004	3,34

Fonte: Própria (2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas temáticos foram eficientes na comparação visual entre diferentes quantidade de pontos na representação da variabilidade espacial da capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e necessidade de calagem.

Os mapas de necessidade de calagem (NC) foram os que mais apresentaram diferenças na variabilidade espacial em relação a quantidade de pontos amostrais. O mapa temático com 48 pontos amostrais foi o que melhor representou a variação da NC ao longo da área.

A validação cruzada se mostrou um método eficiente para avaliação dos interpoladores usados.

REFERÊNCIAS

ACQUA, Nelson HD et al. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 117-122, 2013.

ARRUDA, Murilo Rodrigues; MOREIRA, Adônís; PEREIRA, José Clério Rezende. Amostragem e Cuidados na Coleta de Solo para Fins de Fertilidade. **Embrapa Amazônia Ocidental**. 2014.

BEHERA, Sanjib K. et al. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. **Catena**, v. 165, p. 251-259, 2018.

BOGUNOVIC, Igor; PEREIRA, Paulo; BREVIK, Eric C. Spatial distribution of soil chemical properties in an organic farm in Croatia. **Science of the total environment**, v. 584, p. 535-545, 2017.

CANEPPELE, Cleber Rodrigo. Instrumento De Coleta Na Amostragem De Solo Com Agricultura De Precisão 2016. 24f. Monografia (Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo) – Curso de Agronomia, **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Dois Vizinhos, 2016.

CARDOSO, Evaldo Luis; FERNANDES, Ana Helena Bergamim Marozzi; FERNANDES, Fernando Antonio. Análise de Solos: Finalidade e Procedimentos de Amostragem. **Comunicado técnico - Embrapa**. 2009.

CHELABI, Hakima et al. Soil sample preparation techniques on routine analyses in Quebec affect lime and fertilizer recommendations. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 96, n. 2, p. 244-255, 2016.

COLAÇO, André F.; MOLIN, José P.. André F. **Agricultura de precisão - Amostragem Georreferenciada**. Boletim técnico. LAP - laboratório de agricultura de precisão - ESALQ. 2014.

DAUGHTREY, Z. W.; GILLIAM, J. W.; KAMPRATH, E. J. Soil Test Parameters for Assessing Plant-Available P of a Acid Organic Soils. **Soil Science**, v. 115, n. 6, p. 438-446, 1973.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil use and management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016.

Landim, P.M.P. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: **Fundação Editora da UNESP**, 2003, 253 p.

LUNDGREN, Wellington Jorge Cavalcanti; SILVA, José Antônio Aleixo da; FERREIRA, Rinaldo Luiz Caraciolo. A precisão da estimativa do erro da krigagem pela validação cruzada. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MENDES, André, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Determinação do tamanho de amostra para a Geoestatística**. Orientador: Gerson Rodrigues dos Santos. Coorientador: Wellington Donizete Guimarães. 2020.

NANNI, Marcos Rafael et al. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 386-392, 2011.

POTT, Luan Pierre et al. Variabilidade espacial da planta daninha azevém em cultivo de trigo utilizando diferentes malhas amostrais. **Tecno-Lógica**, v. 23, n. 2, p. 93-99, 2019.

SANTI, Antônio Luís; SEBEM, Elóidio; GIOTTO, Enio; AMADO, Telmo Jorge Carneiro. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 1° ed. Santa Maria - RS: CESPOL, 2016

SCALON, Lourenço Quintão. **Variabilidade espacial da fertilidade do solo e mapas de recomendações**. Trabalho de conclusão de curso - Grande Dourados. Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez. 2020.

SILVA, Ézio Henrique Dias. Agricultura de precisão em área de pivô central de alto potencial produtivo. 2021. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2020.