

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO E
MAPAS DE RECOMENDAÇÃO**

Lourenço Quintão Scalon

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020**

VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO E MAPAS DE RECOMENDAÇÃO

Lourenço Quintão Scalon

Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da
Grande Dourados, como parte das
exigências para obtenção do Título de
Engenheiro Agrônomo.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S282v Scalon, Lourenço Quintão
Variabilidade espacial da fertilidade do solo e mapas de recomendação [recurso eletrônico] /
Lourenço Quintão Scalon. – 2020.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Jorge Wilson Cortez.
TCC (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2020.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. geoestatística. 2. agricultura de precisão. 3. manejo do solo. I. Cortez, Jorge Wilson. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO E MAPAS DE
RECOMENDAÇÃO**

Lourenço Quintão Scalon

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do grau de Bacharel em ENGENHARIA AGRONÔMICA

Aprovado em 03/11/2020.



Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando
UFGD/FCA



Eng. Agr., M. Sc. Dario Alexandre Schwambach

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a:

A Deus, pela saúde e por concluir esse trabalho;

Ao Professor Jorge, pela oportunidade e orientação para a realização deste trabalho;

Ao Grupo de Pesquisa em Agricultura de Precisão e Mecanização pelo suporte;

Ao apoio de minha família;

A UFGD, por possibilitar a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT..	vi
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5 CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	23

SCALON, L. Q. **Variabilidade espacial da fertilidade do solo e mapas de recomendação**. 2020. 30f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

RESUMO

As tecnologias podem contribuir para melhorar a eficiência dos sistemas de produção agrícola, e juntamente com as ferramentas, formam a agricultura de precisão, que prevê o manejo especializado dos fatores de produção, baseado em informações coletadas com localização conhecida a partir do GNSS. Os mapas de fertilidade trazem a possibilidade de identificar a variação espacial dos nutrientes disponíveis no solo para a planta, para que seja realizado a adição de fertilizantes em taxa variável. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo e fazer mapas de recomendação para utilização de fertilizantes e corretivos em taxa variável para atender as demandas da cultura. A caracterização dos atributos químicos do solo ocorreu em uma área de 132 ha através de pontos georreferenciados e gerado duas grades amostrais pelo software geoestatístico em plataforma livre QGIS (versão 2.18.24), sendo a primeira grade com 64 pontos alocados de forma regular com um ponto a cada 2,06 hectares (143,61 x 143,61 m), e a segunda grade com 13 pontos amostrais, alocados de forma aleatória. A densidade amostral final foi de 01 amostra a cada 1,78 hectares, totalizando 77 pontos amostrais. Os dados foram submetidos à estatística descritiva e os mapas interpolados/processados utilizando o interpolador IDW dimensionados para resolução espacial de 10 m. De acordo com os mapas gerados, há uma baixa necessidade de calagem, pois os mapas correlacionados aos atributos químicos de V% estão próximos do desejado de 80%. Analisando os mapas de H + Al, observa-se que os valores não são muito altos e os mapas de Ca + Mg observa-se que os valores estão bons. Para a recomendação de fósforo, observa-se que a região central do talhão receberá as menores doses, e em volta dela, serão as maiores dosagens. Isso pode ser observado analisando o mapa de disposição de P disponível. Para o mapa de recomendação de potássio, percebe-se que há uma ampla variabilidade na aplicação, pois os valores do mapa de disposição de potássio em sua maioria apresentam valores baixos.

Palavras-chaves: geoestatística, agricultura de precisão, manejo do solo.

SCALON, L. Q. **Spatial variability of soil fertility and recommendation maps**. 2020. 30f. Monography (Undergraduate in Agricultural Engineering), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

ABSTRACT

Among the technologies that can contribute to improve the efficiency of agricultural production systems is precision agriculture, which provides for the specialized management of production factors, based on information collected georeferenced. The fertility maps bring the possibility of identifying the spatial variation of the nutrients available in the soil for the plant, so that fertilizers can be added at a variable rate. In this context, this work aimed to evaluate the spatial variability of soil fertility and to make recommendation maps for the use of fertilizers and correction agents at variable rates to meet their demands. The characterization of the chemical attributes of the soil was in an area of 132 ha through georeferenced points and two sample grids were generated by the geostatistical software on the free platform QGIS (version 2.18.24), with the first grid with 64 points allocated on a regular basis. point every 2.06 hectares (143.61x143.61m), and the second grid with 13 sample points, randomly allocated. The final sample density was 01 sample for each 1.78 hectares, totaling 77 sample points. The data were submitted to descriptive statistics and the maps were interpolated / processed using the IDW interpolator sized for a spatial resolution of 10 meters. According to the generated maps, there is a low need for liming, since the maps correlated to the chemical attributes of V% are not very far from the desired. Analyzing the H + Al maps, it is observed that the values are not very high and the Ca + Mg maps show that the values are good. For the phosphorus recommendation, it is observed that the central region of the field will receive the lowest doses, and around it, will be the highest doses. This can be observed by analyzing the available P layout map. For the potassium recommendation map, it is noticed that there is a wide variability in the application, since the values of the potassium disposition map mostly present low values.

Keywords: geostatistics, precision agriculture, soil management.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a adoção de tecnologias tem melhorado o gerenciamento dos sistemas de produção intensivo. As ferramentas de agricultura de precisão (AP) com o emprego de amostragem de solo em grade e a aplicação de fertilizantes em lanço a taxa variável tem sido uma alternativa para economia de insumos e para melhorar a fertilidade do solo. (SOARES FILHO e CUNHA, 2015).

A agricultura de precisão foi essencial para o aperfeiçoamento da agricultura, especialmente na região central do Brasil, cujos solos geralmente são considerados ácidos e de baixa fertilidade. Parte dos solos brasileiros, especialmente aqueles de expansão da fronteira agrícola como os solos na região do Cerrados, apresentam como características a acidez, toxidez de alumínio (Al^{3+}) e/ou manganês (Mn^{2+}) e baixos níveis de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Nos últimos anos, tem-se observado alta correlação entre o pH do solo, ausência de Al^{3+} e aumento de Ca^{2+} em profundidade no solo com a produtividade, especialmente de soja (KERBER, 2016).

A prática de adubação utilizada na grande maioria das áreas de produção de grãos do cerrado brasileiro, desconsidera questões ambientais nos métodos de recomendação, bem como não adota de maneira eficiente estratégias que possam reduzir as doses de fertilizante sem comprometer a rentabilidade das culturas (MERMUT e ESWARAN, 2001). Assim, uma aplicação bem sucedida de corretivos ou fertilizantes, em taxa fixa ou variada, dependerá de máquinas devidamente reguladas e calibradas, das propriedades físicas dos corretivos e fertilizantes e de mapas de recomendação bem elaborados. Milani et al. (2006) afirmam que o manejo localizado apresenta produtividades mais homogêneas e superiores ao manejo uniforme. Ressalta-se que a produtividade das culturas anuais é altamente dependente da correção do pH do solo através da prática da calagem, e neste contexto, a agricultura de precisão tem ganhado espaço com a utilização de técnicas, como as aplicações de calcário em taxa variada, efetuada no local e com a quantidade exata que o solo necessita.

Assim, a análise da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo pode auxiliar na escolha da área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e análise de produtividade (SILVA e CHAVES, 2006; SANTOS et al., 2012; DALCHIAVON et al., 2012). O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é essencial pois possibilita o manejo do solo e minimiza as consequências da variabilidade na produção final.

Neste contexto, este projeto objetivou avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo e obter os mapas de recomendação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para aumentar a produtividade um dos maiores desafios no Brasil é a disseminação de tecnologias e seus usos (SENTELHAS et al., 2015). Dentre as tecnologias que podem contribuir para melhorar a eficiência dos sistemas de produção agrícola está a agricultura de precisão, que prevê o manejo especializado dos fatores de produção, baseado em informações coletadas e georreferenciadas. A localização georreferenciada de um ponto pode identificar, analisar e interpretar a variabilidade espacial existente nos fatores de produção, tendo como objetivo a otimização e a rentabilidade das culturas, contribuindo assim para a diminuição dos impactos ambientais (MOLIN, 2004). Entretanto, a adoção da tecnologia de agricultura de precisão não pode ser realizada adequadamente sem antes ter um conhecimento sobre as variações locais ao longo da área de produção e posteriormente a correta interpretação dos resultados.

A obtenção de mapas de produtividade foi considerada o primeiro passo na adoção da agricultura de precisão (ROSS et al., 2008). Estes mapas fornecem informações a respeito da variabilidade espacial e temporal. Essas informações podem ser utilizadas para medir a resposta que as práticas de manejo localizado estão produzindo (SUDDUTH et al., 2012).

O manejo correto pode melhorar o solo agrícola, todavia em sentido oposto, pode ocasionar redução do potencial produtivo, tendendo a degradação da qualidade (VEZZANI, 2001), gerando baixas produtividades. Porém, é errôneo considerar que a área semeada consiste em um solo homogêneo, pois em uma mesma lavoura, pode-se encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, embora as práticas de manejo tenham sido aplicadas de forma uniforme (AMADO et al., 2005).

Para caracterizar a variabilidade espacial existente na área, a análise do histórico do desenvolvimento das culturas tem sido realizada através do mapeamento de produtividade pelas ferramentas de agricultura de precisão, as quais possibilitam assim a análise das causas de variação e auxiliam a tomada de decisões a respeito do manejo a ser utilizado (MOLIN, 1997; DAMPNEY e MOORE, 1999; MILANI et al., 2006).

Os mapas de fertilidade trazem a possibilidade de identificar a variação espacial dos nutrientes disponíveis no solo para a planta, tomando em conta que cada parte da fazenda apresenta propriedades diferentes, para que seja realizado a adição de fertilizantes em taxa variável (CESSA et al., 2013), evitando assim, que seja aplicado fertilizante em excesso em pontos saturados ou pouco fertilizante em áreas com escassez. A amostragem do solo para avaliação de suas propriedades químicas, tais como acidez e fertilidade, são práticas comuns na

agricultura, utilizando corretivos e fertilizantes uniformemente. Nos últimos anos, tem crescido o interesse nas aplicações em taxa variável, onde as coletas de solo são realizadas tipicamente em um Grid de 1, em uma área de 100x100 metros, ou seja, uma amostra de solo por hectare (EARL et al., 2003).

As empresas especializadas no Brasil, indicam que uma amostra pode representar de 1 até 20 hectares, pois a escolha da malha ou Grid, influenciam diretamente nos custos e na representação das variáveis analisadas (MONTEZANO et al., 2006), ou seja, deve-se estabelecer um consenso entre os requisitos técnicos e econômicos, pois a quantidade de amostras é diretamente proporcional ao custo e a exatidão dos mapas, quanto maior número de amostras, maior foi a confiabilidade do mapa, todavia, poderá inviabilizar economicamente o projeto.

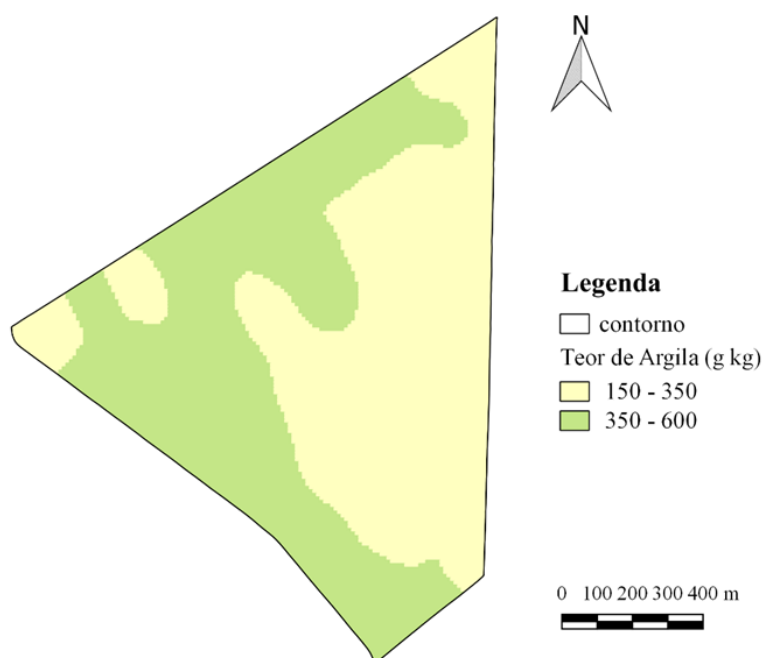
Mesmo em uma área considerada uniforme, o solo pode apresentar certa heterogeneidade dos atributos químicos e físicos. Suas características visíveis, tais como vegetação, cor e topografia devem ser conhecidas para assegurar que essas variabilidades não comprometerão as recomendações de calagem e adubação (SANTOS e VASCONCELLOS, 1987; SILVEIRA et al., 2000).

Carvalho et al. (2003) afirmaram que os fatores intrínsecos influenciavam na variabilidade espacial dos atributos do solo, juntamente com os fatores extrínsecos, que por sua vez, relacionavam-se com as práticas de manejo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma fazenda comercial, localizada no município de Ponta Porã, MS cultivada no sistema de sequeiro e adota o plantio direto a mais de 30 anos. O local situa-se em na latitude de 22°22'58" S, longitude de 55°10'30" W e altitude média de 440 m.

O clima é do tipo tropical úmido com inverso seco - Cwa (KÖPPEN, 1948). O solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico (Figura 1), apresentando em média 343 g kg⁻¹ de argila, 84 g kg⁻¹ de silte e 572 g kg⁻¹ de areia total e relevo suavemente ondulado (SANTOS, et al. 2018).



Fonte: SCHWAMBACH (2020)

FIGURA 1 - Mapa detalhado da variabilidade do teor de argila no talhão, representando a textura média (amarelo) e textura argilosa (verde)

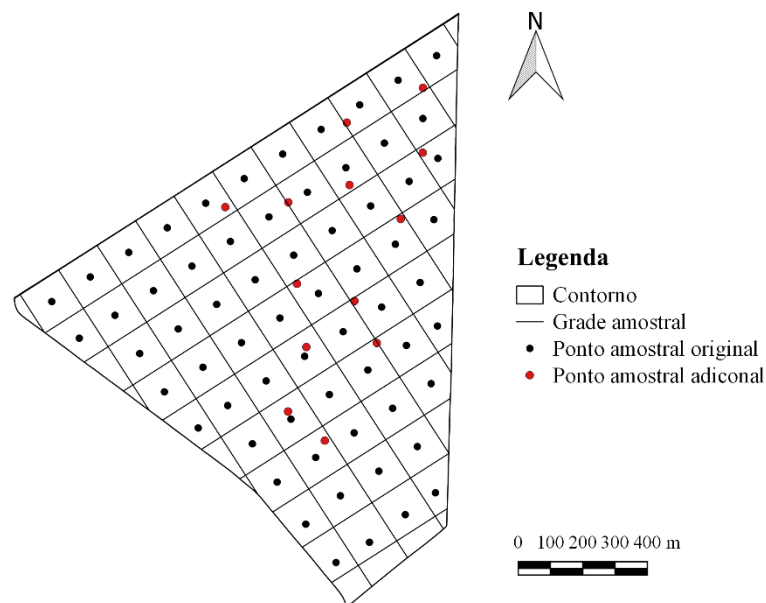
A área experimental possui 132 hectares cultivados a mais de 20 anos com semeadura direta sobre a palha, sempre com a cultura da soja no período de primavera-verão, e nos últimos 5 anos, as culturas de milho e trigo semeados alternadamente no período do outono-inverno. Após a colheita de trigo em 2017 e milho em 2018 houve aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola nas doses de 1,3 Mg ha⁻¹ e 0,7 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Para a caracterização dos atributos químico do solo foi georreferenciada a área de estudo de 132 ha e gerado duas grades amostrais pelo software geoestatístico em plataforma

livre QGIS (versão 2.18.24), sendo a primeira grade com 64 pontos alocados de forma regular com um ponto a cada 2,06 hectares (143,61x143,61m), e, a segunda grade com 13 pontos amostrais, alocados de forma aleatória. Para a determinação do número de pontos coletados aleatoriamente, estipulou-se um acréscimo de 2% no número de pontos amostrados.

A densidade amostral final foi de 01 amostra a cada 1,78 hectares, totalizando 77 pontos amostrais. A Figura 2 representa a área de estudo com a posição do ponto amostral na malha, a malha amostral regular com 64 pontos e a malha amostral de com 13 pontos aleatórios (pontos adicionais).

A coleta de solo foi realizada, de forma manual, com um perfurador marca Sthil®, modelo BT 45 a gasolina com trado da marca Irwin® modelo Mathieson 1 ½" x 18 mm, na profundidade de 0,0-0,2 m, formada por 10 sub-amostras, tomadas aleatoriamente ao redor de cada ponto amostral, respeitando um raio de 5 m referente ao erro do receptor GNSS. As amostras de solo foram enviadas para laboratório.



Fonte: SCHWAMBACH (2020)

FIGURA 2 – Grade regular com ponto amostral original e ponto amostral adicional para a coleta de amostras de solo.

Após a coleta das amostras, o solo foi encaminhado para laboratório onde foram determinados os valores dos atributos, sendo estes: potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca), magnésio

(Mg), alumínio (Al), hidrogênio mais alumínio (H+AL), soma de bases SB, capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC), saturação por bases (V%).

A interpretação dos atributos químicos do solo (pH CaCl₂, MO, P, K⁺, Ca, Mg, Al, V% e CTC), foram baseadas de acordo com Boletim 100, (RAIJ et al., 1997) (Quadro 1).

QUADRO 1. Atributos químicos do solo e os seus padrões de referências limites estabelecidos.

Atributo	Baixo	Médio	Adequado	Alto	Referência
pH CaCl ₂	<5 <15	5,1-5,5 16-30	5,6-6 -	<6 >30	Raij et al. (1997) Adaptado Lopes & Cox (1977)
MO (g dm ⁻³)					
P (mg dm ⁻³)	< 6	7-15	16-40	<40	Raij et al. (1997)
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	<0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	<3,0	Raij et al. (1997)
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	<3	4-7	-	<7	Raij et al. (1997)
Mg (mmol _c dm ⁻³)	<4 <3	5-8 4-10	- -	<8 <30	Raij et al. (1997) Adaptado Lopes & Cox (1977)
Al (mmol _c dm ⁻³)					
SB	- <25	- 26-60	- -	- >60	Adaptado Lopes & Cox (1977)
CTC (mmol _c dm ⁻³)					
V (%)	>50	51-70	71-90	<90	Raij et al. (1997)

pH - acidez, MO – matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg – magnésio, Al- alumínio, , SB – soma de bases, CTC – capacidade de troca de cátions a pH 7,0, V – saturação por bases

Para o cálculo da calagem, foi elevado a saturação de bases para 80% (V2), foi utilizado a fórmula $NC = \frac{CTC(V2-V1)}{10*PRNT}$, onde a NC é a necessidade de calcário, V1 é a saturação inicial do solo e o PRNT o Poder Relativo de Neutralização Total do calcário que será utilizado, sendo considerado de 90%.

Para os cálculos de fosfatagem em que os valores classificados como baixos, recomenda-se a adubação com 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para valores médios, recomenda-se 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para valores adequado, recomenda-se 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e para valores altos, recomenda-se 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (RAIJ et al., 1997). Para a recomendação de Fósforo, utilizou-se o Superfosfato triplo, o qual possui 41% de P₂O₅. Ou seja, todos os valores da recomendação foram divididos por 0,41 para que o mapa de recomendação estivesse pronto para este fertilizante.

Para os cálculos de recomendação de Potássio em que os valores baixos, recomenda-se a adubação com 80 kg ha⁻¹ de K₂O, para os médios, recomenda-se 60 kg ha⁻¹ de K₂O, para os adequados, recomenda-se 50 kg ha⁻¹ de K₂O e para valores altos recomenda-se 30 kg ha⁻¹ de K₂O (RAIJ et al., 1997). Para o mapa de recomendação, utilizou-se o Cloreto de Potássio, que

possui 58% de K_2O , ou seja, todos os valores de recomendação de K_2O foram divididos por 0,58 para que a recomendação já saísse pronta para utilizar o fertilizante em questão.

Os dados foram submetidos à estatística descritiva. Para a interpretação do coeficiente de variação (CV%), seguiu-se Warrick e Nielsen (1980) classificando como: baixo se menor que 15%, médio entre 15 e 50% e alto acima de 50%. Para verificação do ajuste da distribuição normal, utilizou-se o teste de Ryan-Joiner a 5% de probabilidade.

Todos os mapas foram dimensionados para resolução espacial de 10 metros e processados utilizando o interpolador IDW, inverso do quadrado da distância, o modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. na potência dois.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do pH CaCl₂ (Figura 3a), encontram-se entre 5,32 e 6,12 (Quadro 2) o que segundo Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), indica que alguns locais do talhão, a acidez é considerada baixa e muito baixa, respectivamente. Ao analisar o mapa, percebe-se que existem poucas áreas com valores menores, o que é facilmente explicado analisando o baixo coeficiente de variação. Analisando os valores médios dos atributos químicos do solo, observa-se que o pH em CaCl₂ representa acidez baixa.

QUADRO 2. Estatística descritiva dos atributos químicos do solo.

Atributos	Unidade	Média	DP	V	CV	Mn	Md	Mx	AMP	ASS	K	P
pH CaCl ₂		5,77	0,18	0,03	3,07	5,32	5,76	6,12	0,80	-0,20	-0,38	>0,10 ^{ns}
MO	g dm ⁻³	36,00	5,53	30,59	15,36	24,05	35,53	46,46	22,41	-0,11	-0,61	>0,10 ^{ns}
P	mg dm ⁻³	12,30	4,52	20,42	36,74	5,28	12,08	23,87	18,59	0,54	-0,44	0,030*
K ⁺	cmolc dm ⁻³	0,18	0,08	0,01	46,32	0,08	0,16	0,48	0,40	1,79	3,67	<0,01*
Ca+Mg	cmolc dm ⁻³	6,26	0,98	0,95	15,59	4,30	6,00	9,50	5,20	0,88	1,31	<0,01*
Ca ²⁺	cmolc dm ⁻³	5,09	0,90	0,81	17,71	3,10	5,00	7,30	4,20	0,42	-0,11	0,034*
Mg	cmolc dm ⁻³	1,17	0,20	0,04	17,21	1,00	1,10	2,20	1,20	4,28	19,28	<0,01*
H+Al	cmolc dm ⁻³	2,08	0,50	0,25	23,89	0,80	2,10	3,50	2,70	0,06	-0,02	>0,10 ^{ns}
SB	cmolc dm ⁻³	6,43	1,00	1,00	15,55	4,38	6,22	9,71	5,33	0,83	1,25	<0,01*
T	cmolc dm ⁻³	8,51	1,21	1,46	14,21	5,68	8,46	12,21	6,53	0,28	0,77	>0,10 ^{ns}
CTC	cmolc dm ⁻³	6,43	1,00	1,00	15,55	4,38	6,22	9,71	5,33	0,83	1,25	<0,01*
V	%	75,55	4,70	22,10	6,22	63,19	75,04	85,91	22,72	-0,12	-0,47	>0,10 ^{ns}

DP: desvio padrão; V: variância; CV(%): coeficiente de variação; Mn: mínimo; Md: mediana; Mx: máximo; AMP: amplitude As: Assimetria; K: curtose; P: probabilidade com o teste de Ryan-Joiner (Similar a Shapiro-Wilk), onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (^{ns}) distribuição não significativo. Quando significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada. fósforo (P), potássio (K⁺), matéria orgânica (MO), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+Al³⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica total (T), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC), saturação por bases (V).

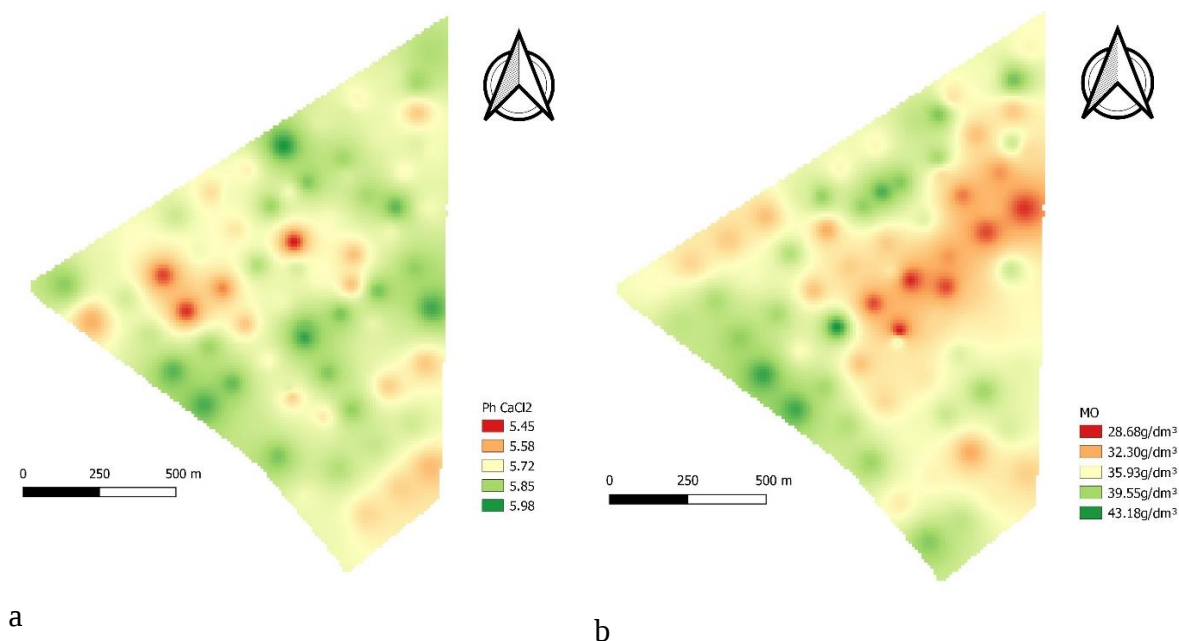


Figura 3. Mapas dos teores de pH CaCl₂ (a) e matéria orgânica (b) (g dm⁻³)

Segundo Raij et al. (1997), o teor de matéria orgânica é útil para dar ideia da textura do solo, com valores de até 15 g dm⁻³ para solos arenosos, de 16 a 30 g dm⁻³ para solos de textura média e de 31 a 60 g dm⁻³ para solos argilosos.

Analisando o mapa de disposição de matéria orgânica (Figura 3b), observa-se uma ampla faixa com valores baixos, podendo possivelmente ser uma área com menor porcentagem de argila, visto que o solo do talhão é considerado misto, o que explica seu CV classificado como médio, e nas áreas de amarelo a verde, pode se considerar que o solo é de textura argilosa.

Analisando o mapa de distribuição de Fósforo (P) (Figura 4a), percebe-se que a maior parte da área apresenta teores baixos, com exceção da região central da área, que se encontra em nível médio. O médio coeficiente de variação (cv) pode ser explicado devido à alta variabilidade espacial deste elemento, pois este fertilizante é aplicado parcialmente em lance e outra parte no sulco de semeadura, e pelo fator textural, visto que a área não possui solo homogêneo como pode-se analisar pela disponibilidade de matéria orgânica (figura 3b), o fósforo é altamente adsorvido pelos componentes mineralógicos da fração argilosa (Bahia Filho et al., 1983), ficando mais disponível na área com menor teor de argila.

Analisando o valor médio do potássio (K⁺)(Quadro 1), está classificado como médio, mas seus valores variam de 0,8 a 4,8 cmol_c dm⁻³, classificados como baixo e alto, respectivamente. Essa diferença pode ser explicada ao avaliar o coeficiente de variação (quadro 1), classificado como médio. Muitos autores explicam este fato pois parte do fertilizante é aplicado a lance e outra parte é aplicado no sulco de semeadura. Outra explicação plausível é a

distribuição textural do solo, visto que solos com baixa CTC e matéria orgânica, favorecem a lixiviação deste elemento. Ou seja, presume-se que nas partes com maior deficiência deste elemento, o solo possua menor quantidade de argila. A adubação potássica é convertida inicialmente em formas não trocáveis, ou seja, são mais suscetíveis a lixiviação. Solos com baixa CTC não conseguem deixar grandes quantidades de K^+ disponíveis, dificultando a reposição de K^+ não trocável, pois ele pode ser lixiviado (WERLE et al., 2008). Os cátions trocáveis são retidos no solo através da força de atração, ou seja, a intensidade da força bem como seu raio iônico, onde cátions menores são mais fortemente retidos. Cada cátion possui uma força diferente, e a sequência liotrópica para os principais cátions do solo seguem a seguinte ordem: $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$ (Raij, 2017). Na maior parte do mapa (Figura 3b), os valores encontram-se baixos e médios, demandando diferentes níveis de cloreto.

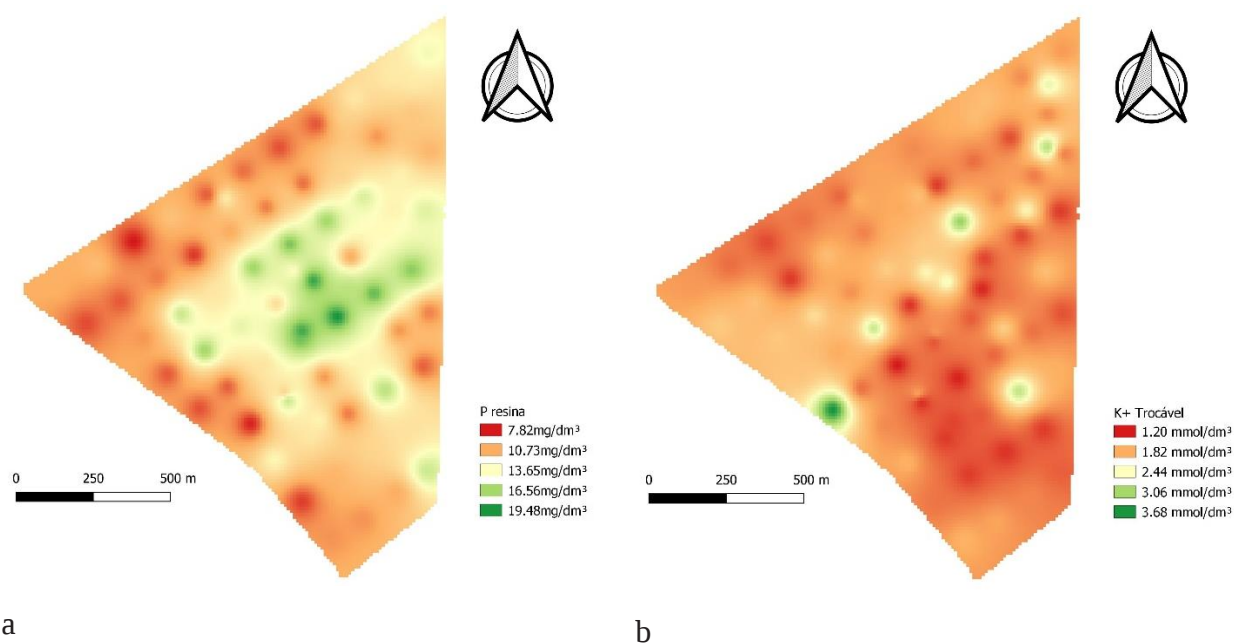


Figura 4. Mapas dos teores de fósforo (a) em $mg\ dm^{-3}$ e potássio (b) em $mmol\ dm^{-3}$

Analisando os mapas de Cálcio (Figura 5a) e magnésio (Figura 5b), pode-se verificar a variabilidade espacial quanto a disposição de cálcio, não ocorrendo tanto em relação ao magnésio. Observa-se que os valores estão muito altos, mesmo as menores quantidades representadas por vermelho no mapa, são consideradas doses altas, onde o teor médio de cálcio na área é de este fato é provavelmente resultado de excesso de calcário utilizado pelo produtor ao longo dos anos anteriores. Todavia, observa-se que a relação Ca/Mg mantêm-se entre a recomendação clássica de 3:1.

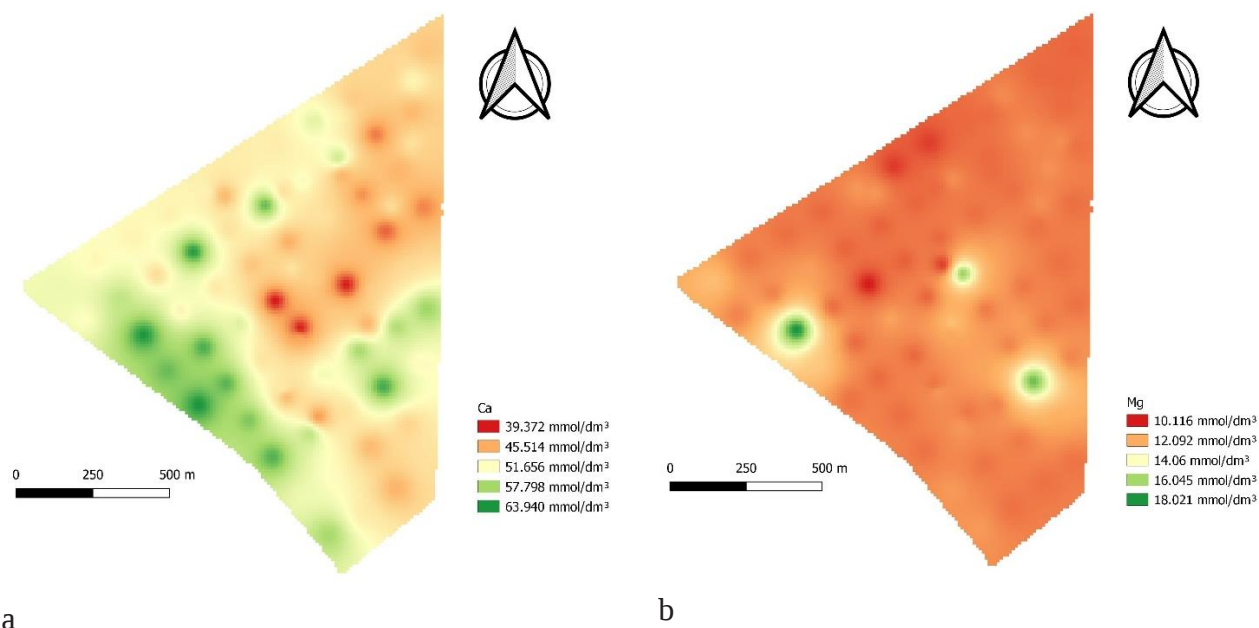


Figura 5. Mapas dos teores de cálcio (a) e magnésio (b) em mmol_c.dm⁻³

Analisando ambos os mapas (Figura 5a e 5b), é possível identificar que as somas de Cálcio com Magnésio estão relacionadas com a diminuição de H⁺ na área, efeito desejado da calagem. Todavia, a grande distribuição de cálcio e magnésio na área, pode ser efeito de usos anteriores de calcários de baixa reatividade, fato este que disponibiliza muito Ca e Mg na área, mas não havia neutralizado o H⁺.

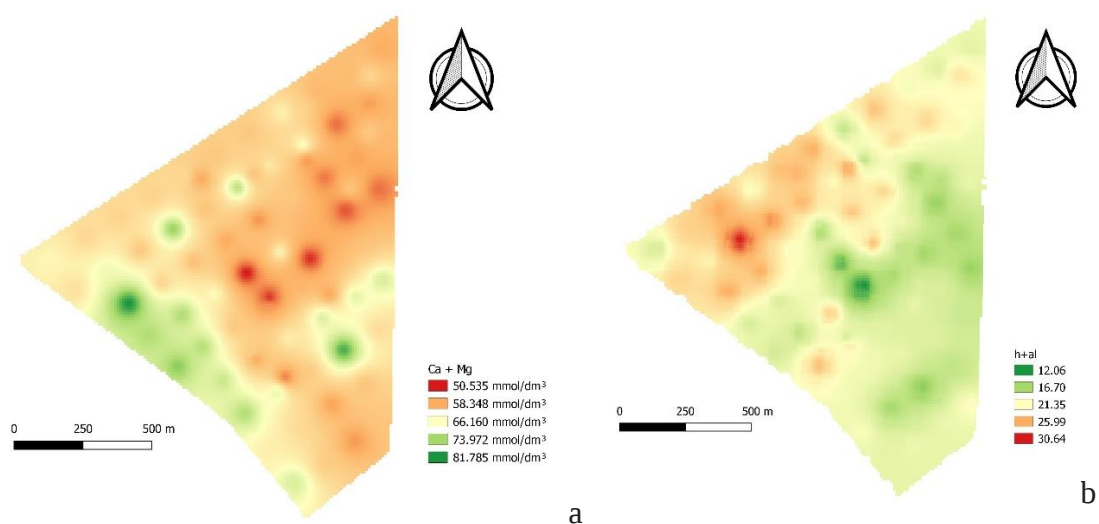


Figura 6. Mapas dos teores de cálcio + magnésio (a) e H+Al (b) em mmolc.cm⁻³

A CTC representa a capacidade de troca catiônica, ou seja, ela representa a capacidade do solo em reter cátions, ou seja, elementos de carga positiva que estão retidos nos

coloides no solo. Quanto maior a CTC do solo, maior será a quantidade de cátions que o solo poderá reter. Dentre esse fator, analisou-se dois principais tipos de CTC, que foram a CTC efetiva (Figura 7a) e a CTC a pH 7 (T) (Figura 7b). A CTC a efetiva é calculada a partir da soma de bases dos cátions básicos e alumínio, os quais mantem o solo próximo ao valor do pH natural. A CTC a pH 7 (T) é calculada a partir dos cátions básicos e também os cátions ácidos, levando em conta a quantidade de Hidrogênio disponível. Em resumo, pode-se dizer que a diferença de ambos os mapas são basicamente a quantidade de Hidrogênio, visto que a quantidade de Alumínio na área é 0.

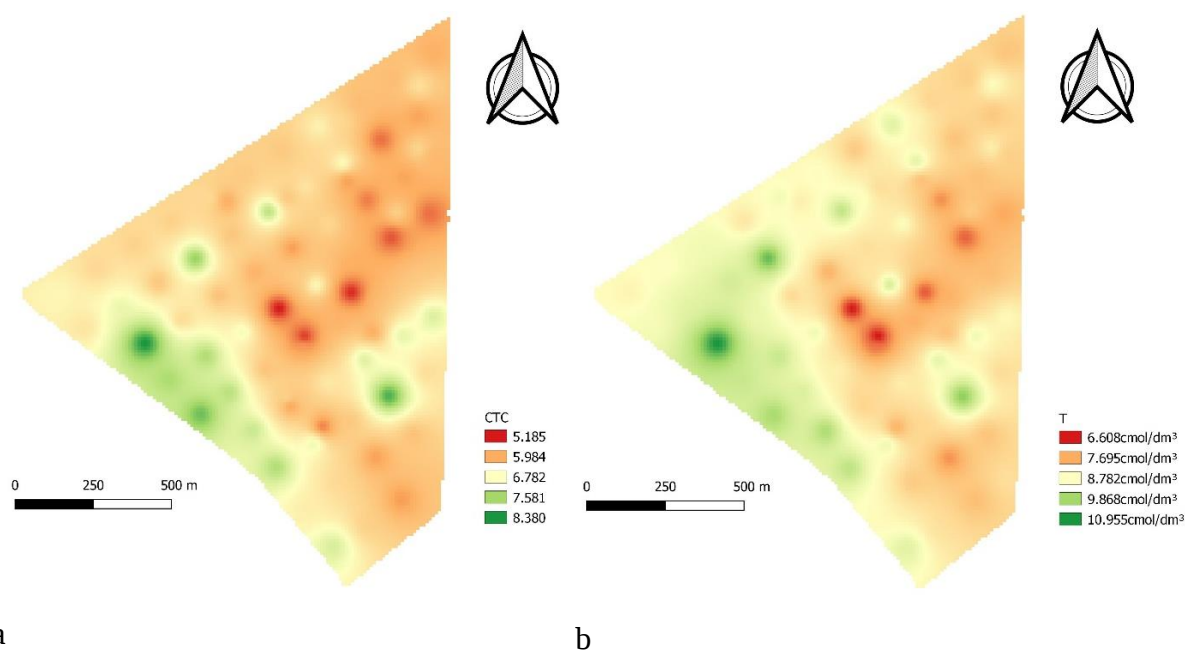


Figura 7. Mapas dos teores de CTC (a) e T (b) em cmolc.dm⁻³

Para saturação por bases (V), observa-se no Quadro 1 e figura 8b o valor médio de 75,55%, classificado como alto, entretanto os valores variam de 63,19% até 85,91%, valores classificados como médio e alto, respectivamente. Como era desejado elevar a saturação por bases para 80%, e o mínimo recomendado de magnésio é de 5 mmol_c dm⁻³, observa-se que o menor valor na análise de solo é de 10 mmol_c dm⁻³, ou seja, não é necessário a reposição de magnésio no solo. Este fato levou a escolha do calcário calcítico, com PRNT de 90.

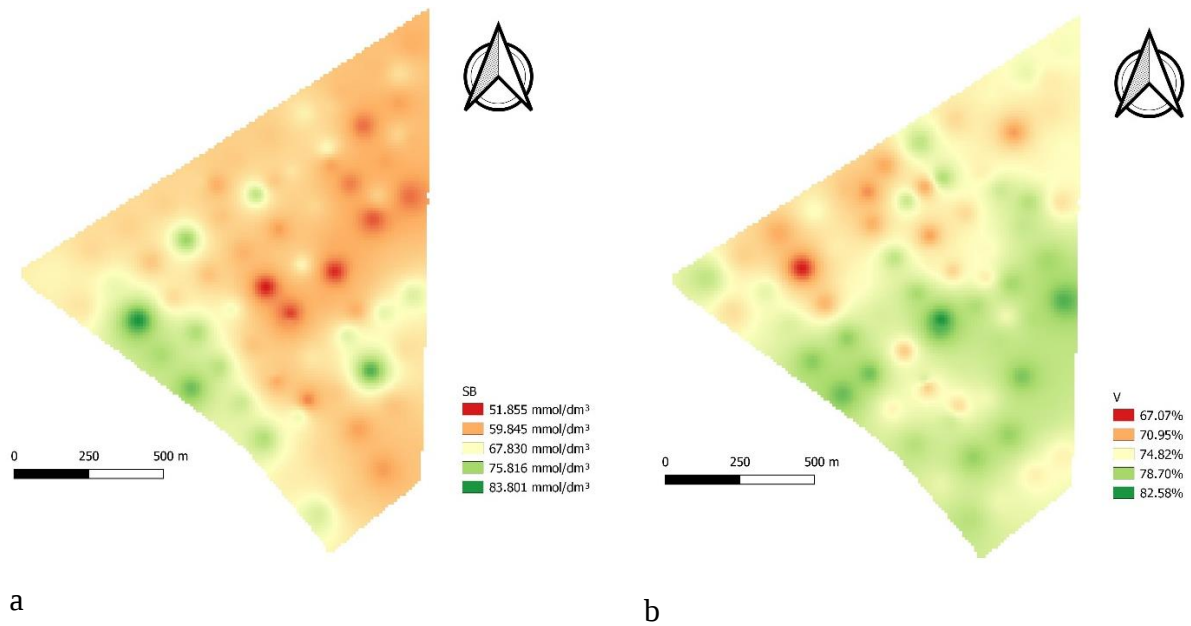


Figura 8. Mapas dos teores de SB(a) em cmolc.cm^{-3} e V% (b)

Ao analisar o mapa de H + Al (Figura 6b) e comparar com o mapa de V% (Figura 8b), é possível notar que se assemelham em suas cores, e o mapa de recomendação de calcário traz como resposta a correção com as quantidades necessárias de corretivos.

Para a recomendação de calcário (Figura 9), é importante analisar os mapas de Ca + Mg (Figura 6a) e H+AL (Figura 6b) e V% (Figura 8b). Ambos se assemelham por estarem diretamente ligados entre si e com a correção do solo, pois altas quantidades de H+ Al influenciam em baixa saturação por bases, e altos níveis de Ca + Mg influenciam em altas somas de bases. Baseado na Figura 9 o mapa de recomendação de calcário sugere que a maioria da área deve receber baixa quantidade de calcário com exceção do terço superior que apresenta algumas manchas que necessita de doses mais elevadas.

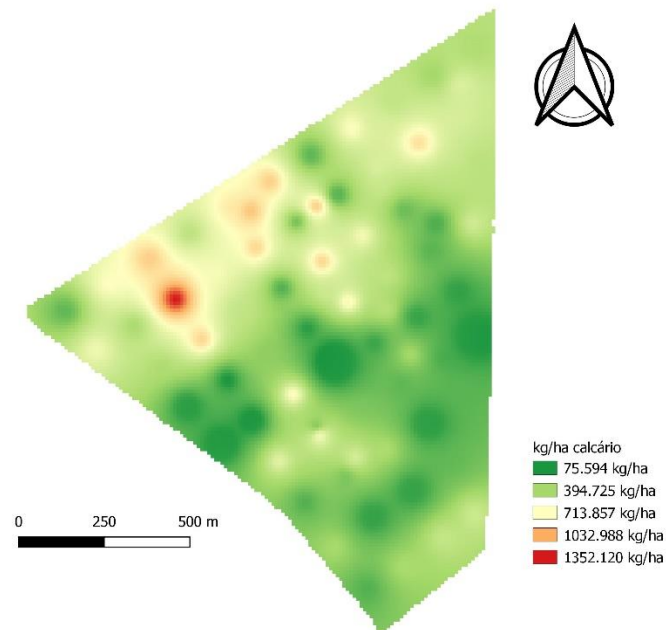


Figura 9. Mapas de recomendação de calcário (kg ha⁻¹).

Para o mapa de recomendação de Supertríplo (Figura 10a), observa-se que no centro da área será aplicado menores quantidades, e os entornos receberão as maiores dosagens. Analisando o mapa de recomendação de potássio (Figura 10b), percebe-se que a maior parte da área receberá altas dosagens de fertilizantes, salvo algumas manchas que demandam de dosagens quase 50% inferiores.

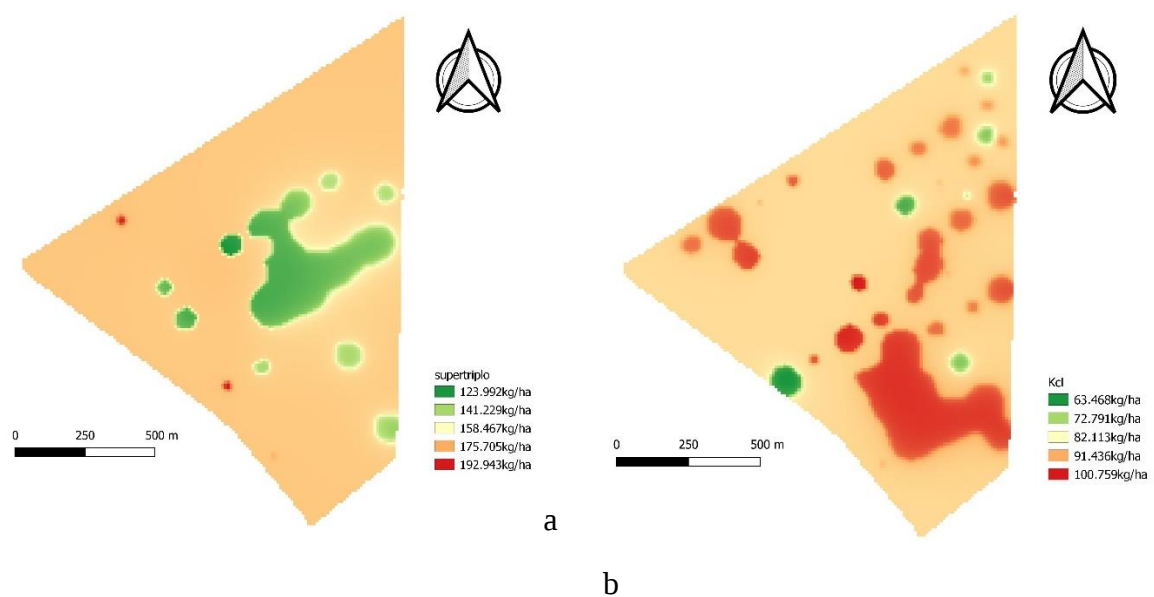


Figura 10. Mapas de recomendação de fósforo (a) e potássio (b)

Analisando as quantidades gastas a taxa fixa e taxa variável dos produtos para correção verifica-se que para a aplicação a taxa fixa de calcário, iria-se utilizar 42,38 Mg, enquanto na aplicação a taxa variável, iria utilizar 56,89 Mg. Para a aplicação de fertilizantes potássicos, utilizaria 22,44 Mg na taxa fixa, enquanto que a aplicação a taxa variável, será utilizado 11,89 Mg de cloreto de potássio. Para aplicação de fertilizantes fosfatados, utilizaria 22,44 Mg na taxa fixa, enquanto na aplicação a taxa variável será utilizada 22,27 Mg de superfosfato triplo.

Erroneamente, imagina-se que a aplicação a taxa variável utiliza menos fertilizante. Sua real função é a de aplicar a quantidade certa nos locais certos, enquanto que a aplicação a taxa fixa trabalha com médias, ou seja, a aplicação será insuficiente nas áreas que necessitam, e excessivamente nas áreas saturadas.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que há variabilidade espacial para o fósforo e potássio, possivelmente ocasionada pelos quesitos texturais do solo.

De acordo com os mapas gerados, há uma baixa necessidade de calagem, pois os mapas correlacionados aos atributos químicos de V% não estão muito distantes do desejado. Analisando os mapas de H + Al, observa-se que os valores não são muito altos e os mapas de Ca + Mg observa-se que os valores estão altos.

Para a recomendação de fósforo, observa-se que a região central do talhão receberá as menores doses, e em volta dela, serão as maiores dosagens. Isso pode ser observado analisando o mapa de disposição de P disponível.

Para o mapa de recomendação de potássio, percebe-se que há uma ampla variabilidade na aplicação, pois os valores do mapa de disposição de potássio em sua maioria apresentam valores baixos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A. L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v.15, n.89, p.34-42, 2005.

BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RESENDE, M.; RIBEIRO A. C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do planalto central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, n.4, p.221-226, 1983.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.695-703, 2003.

CESSA, R.M.A.; SANTANA, D.R.S.; SOUZA F.R; MELO, E.P; GEDRO, C.F.L; MELO, J.S. Levantamento da Fertilidade do Solo Cultivado com Soja para Análise e Prescrição de Corretivo e Potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXXIV, 2013, Costão do Santinho, **Resumos...** Viçosa, 2013. p.1-4.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.661-673.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.3, p.453-461, 2012.

EARL, R.; TAYLOR, J.C.; WOOD, G.A.; BRADLEY, R.I.; WAINE, T.; WELSH, J.P.; KNIGHT, S.M.; GODWIN, R.J. Soil factors and their influence on within-field crop variability, part I: Field observation of soil variation. **Biosystems Engineering**, v.84, n.4, p.425-440, 2003.

KERBER, L. **O impacto da variação entre as doses de calcário na distribuição a lanço**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2016. 29p.

KOPPEN, W. P. **Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

MERMUT, A. R.; ESWARAN, H. Some Major Developments in Soil Science Since the Mid-1960s. **Geoderma**, Wageningen, v. 100, n. 3-4, p. 403-426, 2001.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá v.28, v.4, p.591-598, 2006.

MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 1, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, SP: ESALQ, 2004. 1 CD-ROM.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.17, n.2, p.97-107, 1997.

MONTEZANO Z. F.; CORAZZA, J. P.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.839-847, 2006.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; OUAGGIO J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. Boletim 100

ROSS, K. W.; MORRIS, D. K.; JOHANNSEN, C. J. A review of intra-field yield estimation from yield monitor data. **Applied Engineering in Agriculture**, v.24, n.3, p. 309–317, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018, 356 p.

SANTOS, H.L.; VASCONCELLOS, C.A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.11, p.97- 100, 1987.

SANTOS, E.O.J.; GONTIJO I.; NICOLE L.R. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p.1062-1068, 2012.

SCHWAMBACH, D. A. **Variabilidade espacial da produtividade de soja e milho em duas safras e sua relação com a textura do solo**. 2020. 46f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

SENTELHAS, P. C., BATTISTI, R., CÂMARA, G. M. S., FARIAS, J. R. B., HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The Journal of Agricultural Science**, v.153, n.8, p.1394–1411, 2015.

SILVA, P.C.M.; CHAVES, L.H.G. Avaliação da variabilidade espacial de atributos químicos de um solo do perímetro irrigado de Petrolina, PE. **Agropecuária Técnica**, João Pessoa, v.27, p.5-12, 2006.

SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, v.10, p.2057-2064, 2000.

SOARES FILHO, R.; CUNHA, J.P.A.R. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.689-698, 2015.

SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; MYERS, D. B. **Yield Editor 2.0**: Software for Automated Removal of Yield Map Errors. 2012 ASABE Annual International Meeting. **Anais...**St. Joseph, Mich.: ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2012.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 143p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R.; Spatial variability of soil physical properties in the field. In:**Environmental soil physics**. New York: Academic, p. 665-675, 1980.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, pp.2297-2305, 2008.