

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO DE CLORETO DE POTÁSSIO EM TAXA VARIÁVEL

Alfredo Richart^{1*}; André Luis Piccin²; Márcia Regina Siqueira Konopatzki³; Kaian Albino Corazza Kaefer⁴; Gustavo Moratelli⁴; João Edson Kaefer¹; Martios Ecco¹

SAP 12260 Data envio: 15/06/2015 Data do aceite: 15/07/2015

Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 4, out./dez., p. 391-400, 2016

RESUMO - O presente trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade espacial e temporal de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico em função da aplicação de calcário e cloreto de potássio (KCl) em taxa variável por meio do uso de mapas georeferenciados. O trabalho foi realizado no município de Terra Roxa, PR, à campo, em área de 41,68 hectares, na qual, foram realizadas duas amostragens, sendo a primeira em 2010, antecedendo à aplicação dos produtos e a segunda em 2013. Em cada amostragem, foram quantificados os atributos químicos: pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, potássio (K), saturação por bases (V%) e a participação do K no complexo de troca (%K na T). Para realização do mapeamento georeferenciado, a propriedade foi dividida em grids de três hectares, coletando as amostras de solo na profundidade de 0-20 cm. A partir destes resultados, calcularam-se as quantidades de calcário e cloreto de potássio, posteriormente, os produtos foram aplicados ao solo à taxa variável. Os dados analíticos referentes aos atributos químicos foram submetidos à análise estatística, calculando-se as medidas de posição (mínima, média, mediana, máxima) e dispersão (variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose). Os resultados obtidos indicam que com as medidas de posição, dispersão e análise de mapas temáticos foi possível determinar a variabilidade existente entre os atributos químicos estudados. A aplicação de calcário e cloreto de potássio à taxa variável, proporcionaram aumentos nas médias do pH, K, V e a %K na T. Nestas condições, a taxa variável pode ser utilizada como ferramenta de correção de solo quando se busca maior homogeneidade do solo.

Palavras-chave: agricultura de precisão, manejo de adubação, mapas temáticos.

ANALYSIS ATTRIBUTES OF SPACE-TIME CHEMICAL OF SOIL INFLUENCED BY PRODUCT FOR A VARIABLE RATE

ABSTRACT - This study aimed to evaluate the spatial and temporal variability of chemical attributes of a Red Oxisoil due to the application of lime and potassium chloride in variable rate through the use of thematic maps. The study was conducted in the municipality of Terra Roxa, Paraná State, Brazil, in farm of 41.68 hectares, in which two samples were taken, the first held in 2010, prior to the application of the products, and the second in 2013. In each sampling chemical attributes were measured: pH in CaCl_2 0.01 mol L⁻¹, potassium (K), base saturation (V%) and the participation of K in the exchange complex (%K). For realization of geo-referenced mapping, the property was divided into grids of three acres, by collecting soil samples in the depth 0-20 cm. From these results, the amounts of lime and potassium was calculated, thereafter the products were applied at a variable rate. With the data were calculated the position measurements (minimum, mean, median, maximum) and dispersion (variance, standard deviation, coefficient of variation, skewness and kurtosis). The results indicate that with measures of position, dispersion and analysis of thematic maps was possible to determine the variability of the chemical attributes studied. The application of lime and the floating rate potassium chloride, provided increases in pH, K, V and %K. Under these conditions, the variable rate can be used as soil correction tool when aiming a greater homogeneity plot.

Key words: precision agriculture, thematic maps, agricultural management.

INTRODUÇÃO

Normalmente, o solo pode apresentar variações nos seus atributos químicos, mesmo em áreas consideradas homogêneas e pertencentes a mesma classe de solo

(AMARO FILHO et al., 2007). Este fato ocorre porque o material de origem dos solos não é uniforme devido às diferenças com relação à dureza, composição química, cristalização associado às condições de relevo, clima e

¹Dr., Professor do curso de Agronomia da Escola de Ciências da Vida, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR, campus Toledo, Av. da União 500, Jardim Coopagro, CEP 85902-532, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: alfredo.richart@pucpr.br. *Autor para correspondência

²Engenheiro Agrônomo formado pelo curso de Agronomia, PUCPR

³Dra., Professora de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Paraná, Brasil

⁴Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil

organismos que atuam nos processos pedogenéticos dos mesmos (SOUZA et al., 2010).

A produtividade das lavouras pode ser variável em uma mesma área por menor que seja o grau de variação espacial de determinados atributos. Associado a isto, verifica-se que as modernas técnicas de cultivo com alto nível de mecanização e uso intensivo do solo, também contribuem para modificarem seus atributos físicos e químicos, conseqüentemente, influenciando na produção, no equilíbrio dos recursos naturais e na dinâmica da água no solo (GOMES et al., 2007).

A agricultura convencional não leva em conta a aptidão agrícola das terras e, neste caso, as variações ocasionadas pelo uso intensivo do solo, acima da sua capacidade de suporte, leva a necessidade de preparos mais intensivos e adição de insumos em quantidade cada vez maior (CAMPOS et al., 2009; SANCHEZ et al., 2009).

Pode-se acrescentar, também, que na agricultura convencional as áreas cultivadas são consideradas homogêneas, não levando em conta a variabilidade espacial do solo, implicando no emprego de práticas culturais uniformes, o que inclui sementeira, aplicações de corretivos, fertilizantes e agrotóxicos (AMADO et al., 2007; 2009).

Ao procurar conhecer a variabilidade existente no solo, alguns agricultores estão adotando o novo sistema de produção denominado, no Brasil, de agricultura de precisão (AP). Esse sistema adota procedimentos e tecnologias que permitem aplicar no local correto e momento adequado, a quantidade necessária de insumos à produção agrícola (MOLIN; CASTRO, 2008; SOUZA et al., 2010).

Isso é possível porque na AP são aplicados os princípios da geoestatística para caracterizar a variabilidade espacial dos atributos que fazem parte dos fatores de produção agrícola (AMADO et al., 2009). Com isso, essa ferramenta permite identificar zonas com restrições químicas que possam estar limitando o rendimento e, posteriormente, realizar a correção de maneira adequada (SANCHEZ et al., 2009).

Vale ressaltar que a AP busca aplicar os insumos de forma localizada, geralmente em taxas variáveis, levando em conta a variabilidade das áreas produtivas (MAGALHÃES et al., 2012). A partir da análise da variabilidade espacial, por meio da amostragem de solo georreferenciada, tomam-se as decisões necessárias para que se possa prescrever operações e aplicações dos insumos em dosagens prescritas e de forma localizada (MOLIN, 2010a).

Em estudo conduzido por Weirich Neto et al. (2006), ao considerarem uma área como homogênea para aplicação de corretivos e fertilizantes em sistema convencional, verificaram por meio da técnica geoestatística que houve desequilíbrio nos nutrientes do solo.

Desta forma, AP surge como uma importante ferramenta ao agricultor, capaz de maximizar a produção de forma racional, evitando desta forma superdosagem ou subdosagem de insumos. Além disso, pode ser abordada de várias formas, porém, é sempre utilizada com o intuito de

resolver os problemas da variabilidade espacial e temporal dos nutrientes no solo. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a variabilidade espacial e temporal de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO em função da aplicação de calcário e cloreto de potássio em taxa variável por meio do uso de mapas temáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no campo, no período de julho de 2010 a janeiro de 2013, numa propriedade agrícola de 41,68 ha, localizada no município de Terra Roxa, PR, cujas coordenadas geográficas de referências são 24° 17' 49" S e 54° 01' 16" W, com altitude média de 326 m. Com base na classificação climática de Köppen, o clima local é Subtropical Cfa, com verões quentes e invernos frios ou amenos, geadas são frequentes no período mais frio, podendo acontecer no período entre o fim de maio e o início de setembro, com média anual de temperatura de 20 °C (CAVAGLIONE, 2000).

O trabalho foi realizado em uma área comercial de soja cultivada em Sistema Plantio Direto na Palha (SPDP) a mais de 10 anos. O solo utilizado neste estudo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, relevo suave ondulado, textura muito argilosa e solo de classe III (EMBRAPA, 2013).

Quanto a recomendação de adubação nitrogenada, fosfatada e potássica para as culturas cultivadas entre os dois mapeamentos de solo, a mesmas foram definidas conforme expectativa de rendimento para as culturas da soja e do milho safrinha.

Inicialmente, realizou a primeira coleta de solo para análise, com finalidade de quantificar os atributos químicos de acidez do solo, a qual, foi realizada no dia 18 de julho de 2010, com auxílio de um quadríciclo equipado com sistema hidráulico de coleta de solo. Os dados foram coletados utilizando Pocket PC, equipamento com sistema de posicionamento global (GPS) e com o programa AgField (AGX Tecnologia®) para a coleta e armazenamento dos dados georreferenciados. Com isso, realizou-se o contorno da área e em seguida foi gerada a malha de amostragem com tamanho de 3 ha, constituindo-se de 15 pontos amostrais, como mostra a Figura 1.

Com base neste grid, foi realizada a coleta das amostras de solo, coletando-se 10 amostras simples para compor uma amostra composta, na profundidade de 0-20 cm, conforme a recomendação da Embrapa (2010). Uma vez identificadas, as 15 amostras compostas de solo foram enviadas para o laboratório de análises de solo, nas quais determinaram-se acidez ativa (pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹), acidez trocável (Al³⁺) e acidez potencial (H + Al), bem como, os teores de matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A dose e o tipo de calcário a ser aplicado foi obtido interpretando-se os teores médios de Ca, Mg e a relação Ca/Mg, os quais foram de 5,34 cmol_c dm⁻³, 2,33 cmol_c dm⁻³ e 2,32, respectivamente.

De posse dos resultados, foram elaborados os mapas de taxa variável, com a obtenção dos resultados, foram gerados os mapas de nutrientes e também a

recomendação no software SGIS (Topcon Agriculture Precision®).

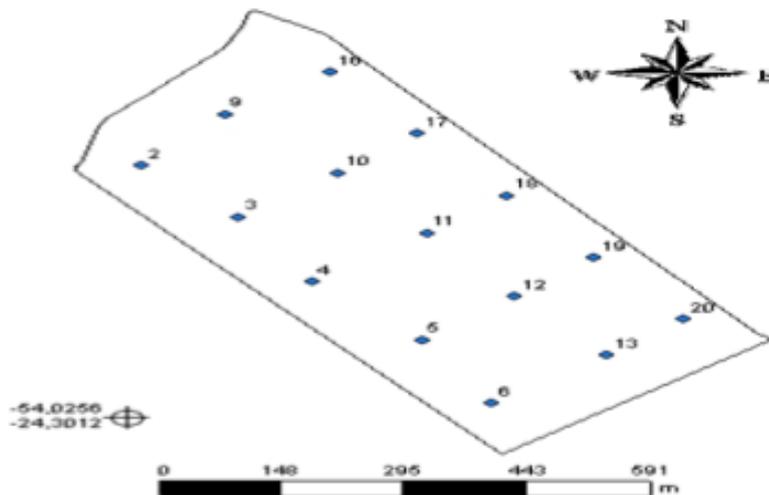


FIGURA 1 - Mapa de contorno da área com seus respectivos pontos georreferenciados onde foram realizadas as coletas de amostras de solo, Terra Roxa, PR.

A recomendação de calagem foi realizada segundo os estudos realizados pela Embrapa (2010), para a soja. Com base nos resultados das análises de solo, utilizou-se calcário calcítico (PRNT de 80%), devido a relação Ca/Mg ser menor do que 3/1 em todas as amostras realizadas, de modo a elevar a saturação de bases para 70%. A equação utilizada para o cálculo de recomendação de calagem foi inserida no SIG e com base nos valores do conjunto de análises de solo, foi elaborado o mapa de aplicação em taxa variável do corretivo, conforme representados na Figura 2.

Para o K, procedeu-se de modo semelhante, sendo a recomendação de correção apenas para homogeneizar o

nível do nutriente no solo para 4,5% de participação no complexo de troca (T). Além disso, adicionou-se a adubação de manutenção da soja na linha de semeadura, conforme recomendações da Embrapa (2010). Depois de calculada a quantidade necessária de K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para elevar a participação para 4,5% na T para cada amostra realizada, fez-se a conversão das unidades até chegar na quantidade necessário em kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) com 60% K_2O . Em seguida, foram construídos os mapas de aplicação em taxa variável do KCl, como apresentado na Figura 3.

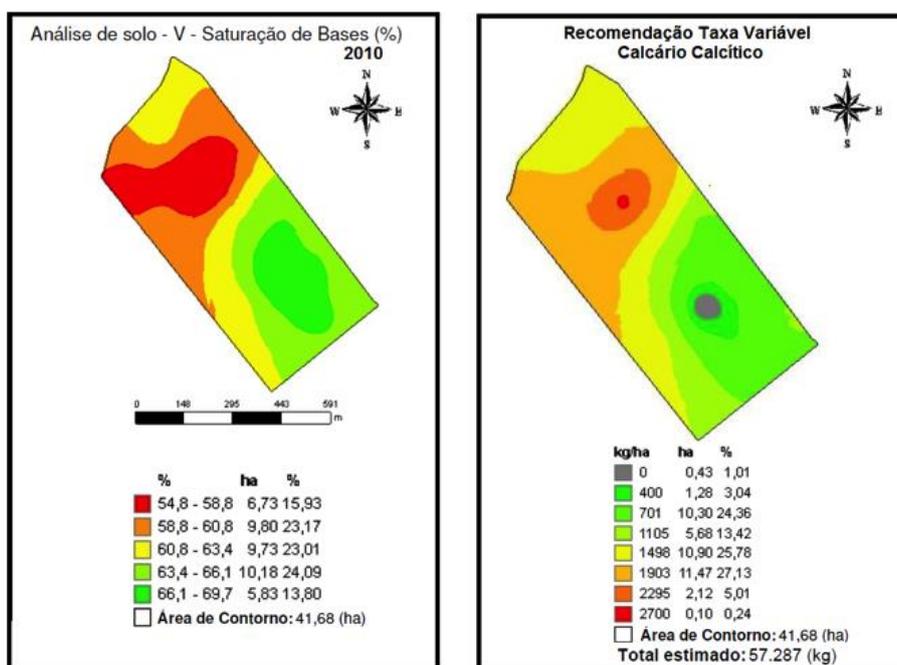


FIGURA 2 - Mapa de saturação de bases e mapa de recomendação de calagem utilizado na correção do solo a taxa variável para a área experimental em 2010, Terra Roxa, PR.

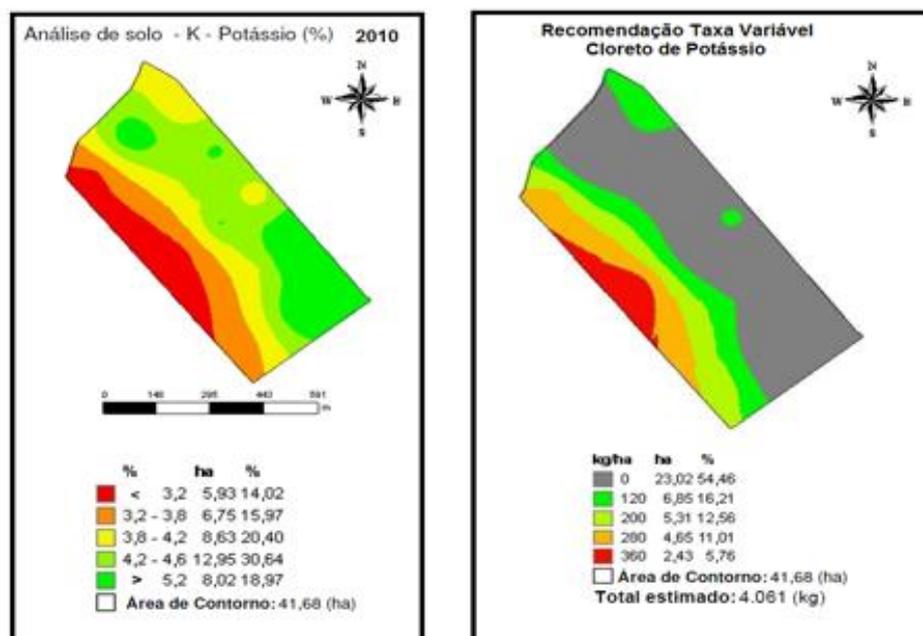


FIGURA 3 - Mapas de fertilidade do solo da participação do K na T e mapa de recomendação em taxa variável de KCl utilizado na correção do K no solo em 2010, Terra Roxa, PR.

Conforme os mapas de recomendação de calagem e adubação potássica apresentados nas Figuras 2 e 3, procedeu-se à aplicação à campo, em taxa variável, do calcário e KCl à lanço, utilizando-se um equipamento Hércules 24.000C-Stara, equipado com DGPS (Outback GuidanceS3[®]) e painel controlador eletro hidráulico de taxa variável Falcon 3500[®], que variou a velocidade da esteira na aplicação dos produtos, conforme os mapas de recomendação elaborados. Desta forma, aplicaram-se as quantidades requeridas dos insumos a partir dos resultados das análises de solo.

De acordo com a regulagem do perfil de distribuição do equipamento, para a calagem utilizou-se 14 m de faixa de aplicação e para o KCl utilizou-se 28 m. A aplicação do calcário calcítico e KCl foram realizados no dia 31 de julho e 21 de agosto de 2010, respectivamente, sendo que ambos os produtos foram distribuídos antes da semeadura da soja.

Para avaliar a variabilidade espaço-temporal e as mudanças nos níveis dos nutrientes no solo influenciados pela aplicação do calcário e do KCl em taxa variável, foi realizada uma segunda amostragem de solo no dia 26 de janeiro de 2013, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos acima, coletando-se solo na profundidade de 0-20 cm, as quais, foram enviadas para o laboratório de análises de solo, determinando-se à acidez ativa (pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1}), acidez trocável (Al^{3+}) e acidez potencial (H + Al), bem como, os teores de M.O., P, K, Ca e Mg.

Para entender melhor os efeitos da aplicação em taxa variável dos insumos sobre os atributos químicos, utilizou-se apenas as variáveis P, pH, K, V e K na T, nas quais, foram calculadas as medidas de posição (mínima, média, mediana, máxima) e dispersão (variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose). Os dados apresentados em tabelas foram convertidos em mapas temáticos e gráficos para a melhor descrição da

evolução espacial e temporal da fertilidade do solo, avaliando-se a homogeneidade dos atributos dentro da área.

Para a análise do coeficiente de variação, seguiu-se a recomendação de Pimentel Gomes (2000), sugerindo que quando o mesmo foi menor do que 10%, considerou-se como baixo, de 10% a 20% foram classificados como médios, de 20% a 30% foram julgados como alto, e acima de 30% são tidos como muitos altos, podendo assim classificar a dispersão dos dados. As análises foram realizadas utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise estatística descritiva (Tabela 1), verificou-se que os valores da média e mediana para os atributos químicos P, pH, K, V e K na T foram semelhantes entre si dentro de cada ano de amostragem georreferenciada. Além disso, observa-se que a assimetria e a curtose apresentaram valores próximos de zero para pH, K, V e K na T na amostragem em 2010, indicando uma aproximação da distribuição normal, com exceção do P que se obteve valor positivo de 0,98 e 0,18, respectivamente, assimetria e curtose.

Enquanto que na amostragem realizada em 2013, o P, pH e V apresentaram valores negativos para assimetria e curtose. Todavia, o K e a participação do K na T apresentaram assimetria e curtose acima de zero (Tabela 1), sugerindo que os dados não seguiram uma distribuição normal, a qual, pode ser atribuída a mobilidade e variabilidade destes nutrientes no solo. Neste caso, constatou-se que quase todos os atributos analisados podem ser representados pela média, em razão dos mesmos terem demonstrado distribuição de frequência do tipo normal. Assim, os dados ficaram, no geral, em concordância com os resultados obtidos por outros autores

(CAMPOS et al., 2009; SANCHES et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2010; MATIAS et al., 2015) que

estudavam a variabilidade espacial por meio de atributos do solo.

TABELA 1. Resultados da análise descritiva (mínima, média, mediana, máxima, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose) dos atributos químicos (P, pH, K, V e participação do K na T) realizadas nas profundidades de 0-20 cm em LATOSSOLO Eutroférico típico, município de Terra Roxa, PR.

Atributos	Parâmetros da estatística descritiva								
	Mínima	Média	Mediana	Máxima	Variância	DP	CV	Assimetria	Curtose
Amostragem em 2010									
P	22,00	29,76	28,5	44,7	47,02	6,86	23,04	0,98	0,18
pH	4,90	5,21	5,20	5,50	0,03	0,18	3,39	-0,14	-0,97
K	0,36	0,54	0,54	0,70	0,01	0,11	20,25	-0,26	-1,17
V	54,75	62,39	62,02	69,77	15,25	3,90	6,26	-0,03	-0,13
K na T	2,68	4,10	4,17	5,22	0,62	0,79	19,17	-0,21	-1,05
Amostragem em 2013									
P	22,5	29,08	30,20	33,60	11,40	3,38	11,61	-0,66	-0,52
pH	5,10	5,31	5,30	5,50	0,01	0,09	1,72	-0,29	1,89
K	0,56	0,68	0,69	0,87	0,01	0,09	13,50	0,52	0,52
V	59,61	65,52	65,15	70,30	8,51	2,92	4,45	-0,11	-0,31
K na T	3,83	4,59	4,56	5,94	0,35	0,59	12,94	0,79	0,28

Em que: P (mg dm⁻³); pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹); K (cmol_c dm⁻³); V (%) e participação do K na T (%).

Ao interpretar a variação dos dados em torno da média, para P e K, constatou-se heterogeneidade na área, apresentando CV alto apenas no primeiro ano (2010), respectivamente, 23,04 e 20,25% (Tabela 1). No entanto, na segunda amostragem, os valores do CV foram de 11,61 e 13,50%, respectivamente, P e K. Estes resultados indicam maior variabilidade espacial para estes nutrientes na amostragem que antecede à aplicação dos fertilizantes em taxa variável, sugerindo melhorias na fertilidade deste solo.

A participação do K na T apresentou um CV médio (19,17%), enquanto que os atributos pH e V%, o CV foi baixo, respectivamente, 3,39% e 6,26%, indicando homogeneidade dos dados, uma vez que os CV foram menores que 10%. Estas variações obtidas nos atributos químicos avaliados se devem aos reflexos das interações dos processos de sua formação, de práticas de manejo do solo e da planta, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (CAMPOS et al., 2009; SANCHES et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2010).

Para a primeira amostragem realizada em 2010, o teor médio de P encontrado foi de 29,76 mg dm⁻³, com valor mínimo de 22,00 mg dm⁻³ e máximo de 44,7 mg dm⁻³, variância de 47,02 e DP de 6,86. Já para o K em 2010, exibiu valor médio de 0,54 cmol_c dm⁻³, variando de 0,36 a 0,70 cmol_c dm⁻³, demonstrando grande amplitude da concentração do elemento no solo, fator que explica o elevado CV (20,25%).

Além disso, observou-se que os teores de P e K foram satisfatórios em todos os pontos, porém a amplitude entre os valores mínimo e máximo foi grande, mostrando elevada variabilidade espacial destes nutrientes no solo. Esses resultados corroboram com os anteriormente

encontrados em outros estudos em LATOSSOLOS (CORÁ; BERALDO, 2006; CHERUBIN et al., 2011, 2014; NANNI et al., 2011; SANTI et al., 2012). De acordo com estes autores, a elevada variação dos teores de P e K decorre das sucessivas aplicações de fertilizantes na linha de semeadura, o que pode ter contribuído para a manutenção ou aumento da variabilidade espacial do solo.

O pH do solo em 2010 apresentou valor médio de 5,21, variando de 4,9 a 5,5, e baixa variância e DP (0,03 e 0,18). A saturação de bases (V%) em 2010 obteve valor máximo de 69,77%, mostrando que em algumas partes da área já estava bem próximo de 70%, que é considerado pela Embrapa (2014), como ideal para a soja no Paraná e assim sendo, sem a necessidade de aplicação de calcário.

Entretanto, o valor mínimo no solo foi baixo (54,75%), com necessidade de calagem em taxa variável, de maneira a diminuir a heterogeneidade do solo. O mesmo apresentou ainda DP de 3,90 e CV de 6,26%. A participação do K na T em 2010 apresentava valor médio de 4,10, variando de 2,68 a 5,22, com CV médio (19,17%), mostrando variabilidade espacial na área avaliada, com necessidade de intervenção com taxa variável. A necessidade de adição de K em apenas 45,54% da área (18,98 ha) deve-se ao fato que parte da área apresentou valores bem abaixo do ideal, e parte se encontrou bem acima.

Após a aplicação, a taxa variável de calcário calcítico e cloreto de potássio em 2010, observa-se acréscimo nos teores em 2013, de alguns atributos como: pH (5,31), K (0,68 cmol_c dm⁻³), V (65,52%) e participação do K na T (4,59%). Para o atributo químico P, ocorreu pequeno decréscimo de sua concentração, cujo elemento

não sofreu interferência por taxa variável, 29,76 e 29,08 mg dm⁻³, respectivamente.

Para o V observam-se decréscimos nos valores de variância, DV e CV nas análises de solo realizadas após a aplicação à taxa variável. A variância passou de 15,25 para 8,51, apresentando diferença de 6,74. O DP padrão apresentava 3,90 e diminuiu para 2,92, apresentando diferença de 0,98. O CV apresentava valor baixo (6,26%) e continuou baixo (4,45%) após a aplicação em taxa variável, diminuindo 1,81%, mostrando que os dados de V ficaram ainda menos dispersos, se aproximando mais da média, proporcionando assim uma melhor homogeneidade da área.

Observa-se também aumento médio da V de 62,39% para 65,52%, a qual ocorreu em função da aplicação de calcário e cloreto de potássio à taxa variável. Estes resultados corroboram com os obtidos por Sena et al.

(2012), em que avaliaram a distribuição e a variabilidade espacial da V no solo manejado com taxa fixa e variável, apresentando também menor CV de variação na área trabalhada com taxa variável.

Os mapas temáticos permitem avaliar a distribuição espacial da V no campo, sendo que 39,10% da área em 2010 apresentavam valores menores que 60,8% (Figura 4). Após as aplicações em taxa variável de calcário e cloreto de potássio, o índice de área caiu para 3,26% com valores abaixo de 60,8% (Figura 5). Resultados semelhantes foram encontrados por Cocco et al. (2013), em área de plantio direto sob pivô onde avaliaram a evolução da V, sendo que no ano de 2010, 60% da área estudada em seu experimento se encontrava com valores baixos e em 2013 apenas 18,58% da área se encontrava nesta mesma classe.

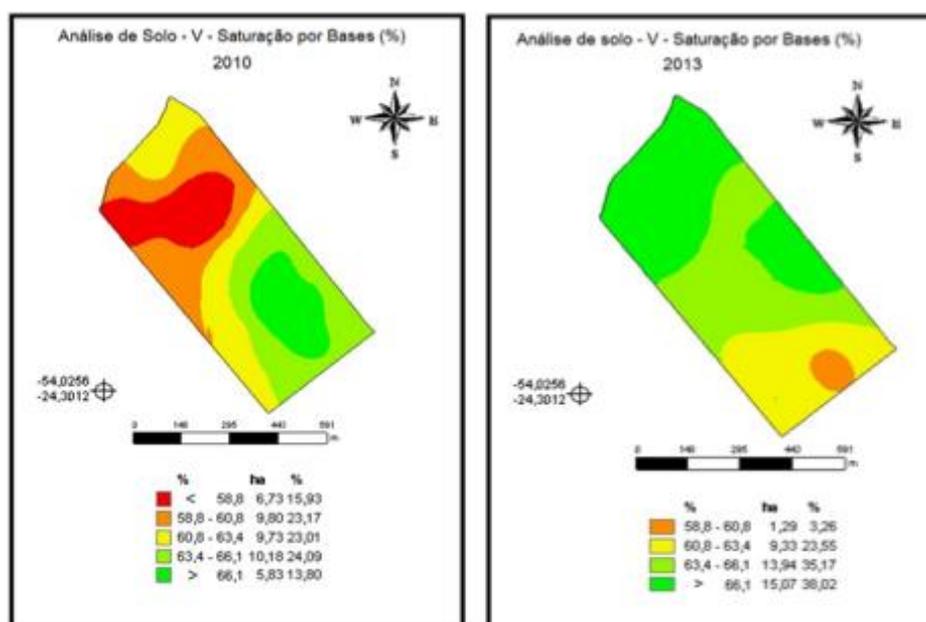


FIGURA 4 - Mapas temáticos da Saturação por Bases (V%) criados pelo programa SGIS (2010 e 2013) na área experimental, Terra Roxa, PR.

Neste trabalho, pode ser observado o efeito positivo que ocorreu na V proporcionadas pela calagem, principalmente nas manchas de solo que apresentavam os menores valores desse índice. Isso pode ser explicado pelo mapa da aplicação de calcário, sendo que em toda essa faixa de menor V recebeu as maiores doses de calcário, conforme Figura 4.

Comparando o mapa da aplicação em taxa variável realizado em 2010 com o de 2013, pode-se observar que ocorreu aumento da V do solo em 2013, pode-se verificar que ocorreu uma tendência de alternância de regiões identificadas nos mapas temáticos (Figura 5). Wilda (2014) explica que esta alternância de regiões contrastantes nos mapas a cada duas amostragens é plausível, ao se considerar que os processos de acidificação atuam continuamente nas áreas de cultivo, assim os locais que receberam menor quantidade ou que não receberam corretivos em um ano, estão mais

propensas a apresentar necessidades de corretivos em uma amostragem subsequente.

Isso ocorreu, devido ao fato que a aplicação à taxa variável age contra a variabilidade espacial dos atributos do solo, ou seja, o mapa da aplicação foi uma representação contrária do mapa de atributo. Desta forma, pode-se observar que o mapa da aplicação forneceu ao solo o elemento e quantidade necessária para corrigir as manchas detectadas deficientes, explicando o motivo da menor variabilidade espacial após a aplicação em taxa variável.

Quanto ao pH (Figura 6), ocorreu menor variabilidade espacial após a aplicação do calcário, que já apresentava baixo CV (3,39%), o qual, foi menor ainda (1,72%), como apresentado na Figura 6. Fato este, comprova a eficiência da calagem realizada com taxa variável, quando se busca menor variabilidade espacial do pH no solo, apresentando assim área mais homogênea. Wilda (2014) verificou que a saturação por bases tem

relação direta com o pH do solo, o que corrobora com este trabalho, onde aplicou-se mais calcário em manchas

semelhantes dos dois atributos (V% e pH).

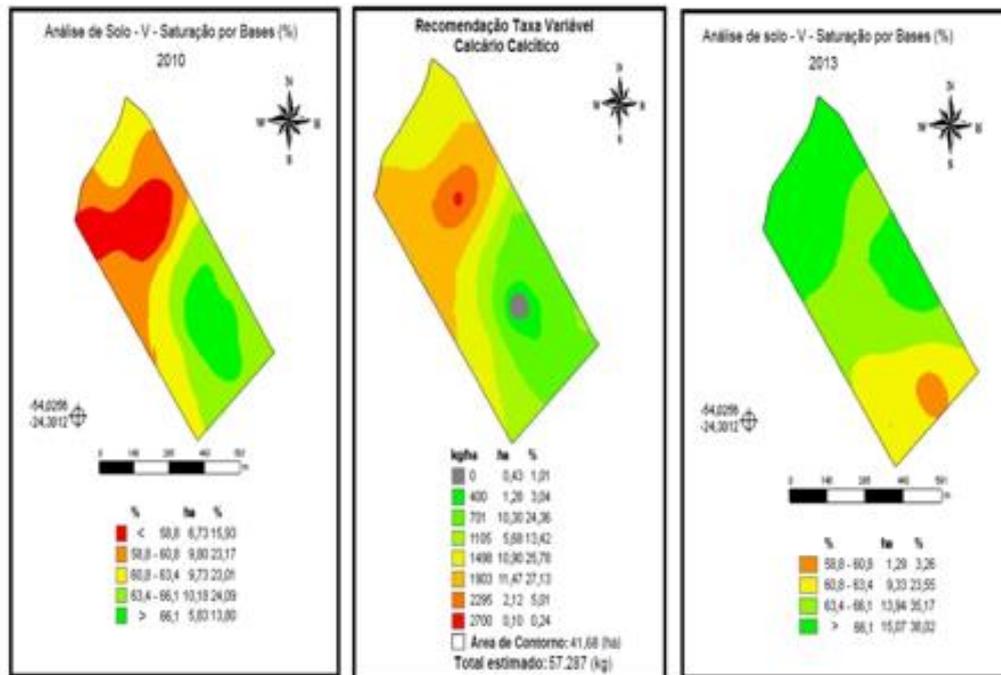


FIGURA 5 - Mapas temáticos de Saturação por Bases (V%) no solo, mapa de recomendação de aplicação de calcário em 2010 e V% no solo em 2013 na área experimental, Terra Roxa, PR.

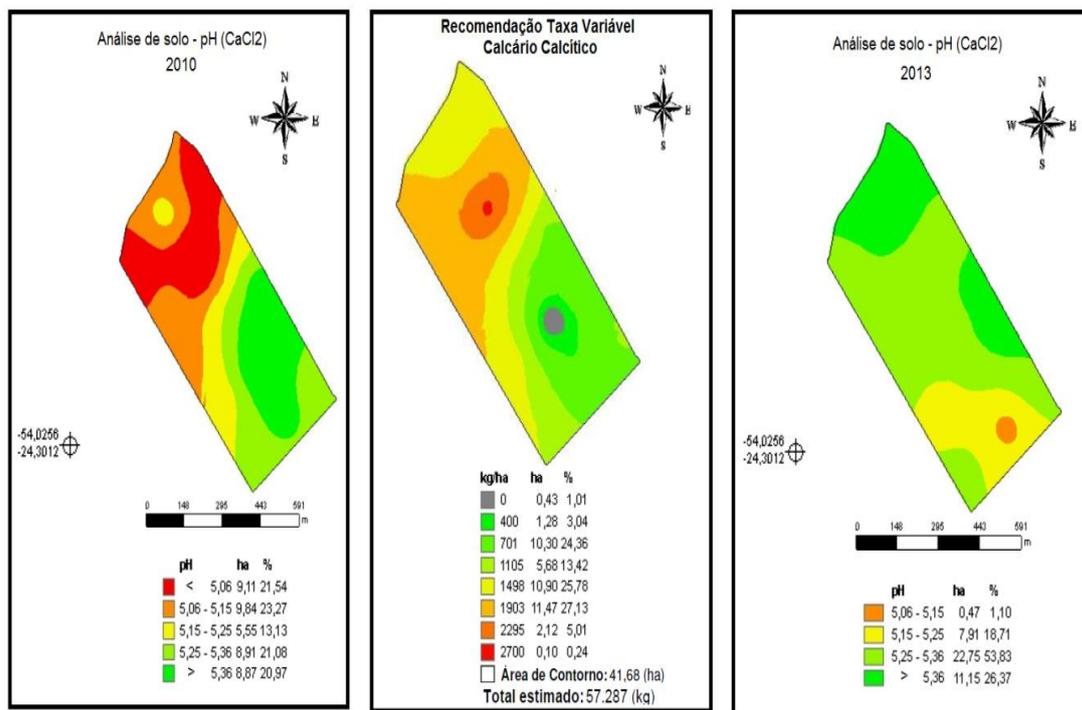


FIGURA 6 - Variabilidade espacial do pH no solo (2010 e 2013) e recomendação de calcário na área experimental, Terra Roxa, PR.

Em relação à distribuição espacial do pH (CaCl_2) em 2010, os valores para esse atributo se apresentavam dispersos na área e após a aplicação em taxa variável, se mostraram mais agrupados, podendo ser observado que

53,83% da área apresenta valores de uma mesma classe (5,25 – 5,36), que em 2010 era representada por apenas 21,08% da área (Figura 7). Outra característica importante, é que 44,81% da área exibiam valores abaixo de 5,15, que

após a correção, apenas 1,1% da área se manteve abaixo desse índice. Isso reforça a eficiência da calagem em taxa variável, tornando a área corrigida e consequentemente, mais homogênea.

Para o atributo químico K, os efeitos da aplicação do KCl são muito parecidos com os efeitos causados nos mapas temáticos da participação de K na T, tendo uma

diminuição no coeficiente de variação de 20,25% para 13,50% em 2010 e 2013, respectivamente (Figura 8). Além disso, apresentou melhores níveis de K, podendo ser observado o aumento na média de 0,54 para 0,68 e tendência de alternância das manchas apresentadas no talhão avaliado.

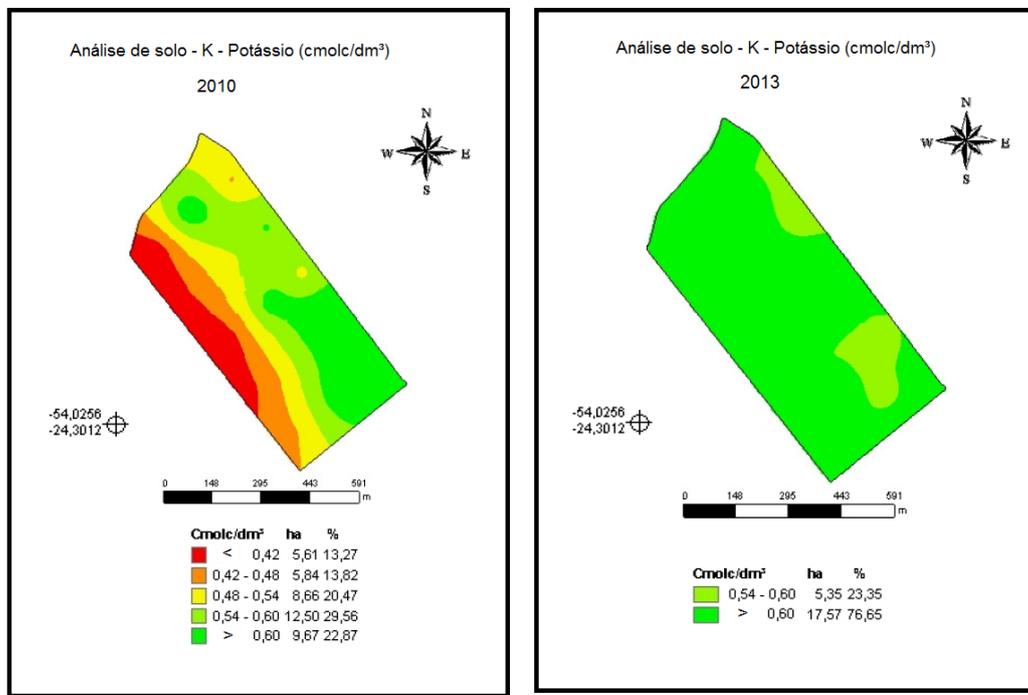


FIGURA 7 - Variabilidade espacial do K no solo no ano de 2010 e 2013 para a área experimental, Terra Roxa, PR.

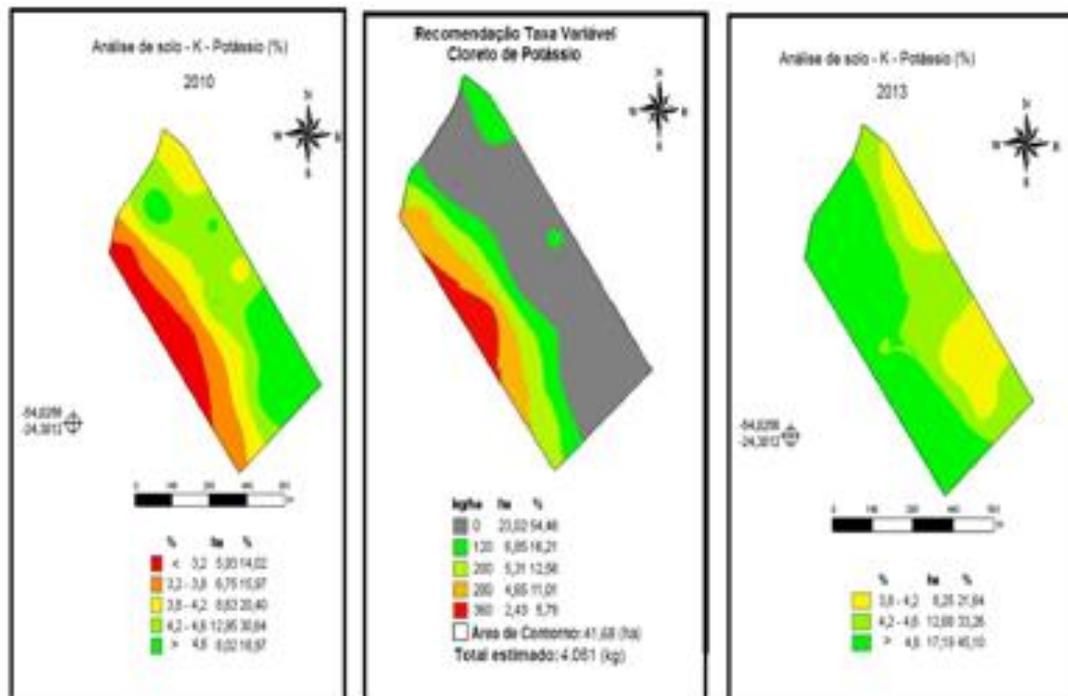


FIGURA 8 - Participação do potássio na T (%) 2010, mapa da recomendação de cloreto de potássio (60% K₂O) e participação do potássio na T (%) 2013 na área experimental, Terra Roxa, PR.

Outro aspecto importante para AP foi a correção dos níveis baixos da participação do K na T que o solo apresentava. Em 2010, 50,39% da área apresentava valores abaixo de 4,5%, no entanto, ao observar o mapa temático da participação do K na T em 2013 (Figura 8), ficou claro que essa parte da área com deficiência foi totalmente corrigida com a aplicação do K em taxa variável. Assim como foi encontrado para a V, para a participação do K na T, também observou-se uma tendência de alternância espacial no nível do nutriente. Wilda (2004) explica que locais que não receberam aplicação em taxa variável em um ano, estão mais propensas a apresentar necessidade na próxima amostragem. Desta forma, evidência que a AP é um ciclo, que novas amostragens de solo devem ser realizadas para aferir os níveis dos nutrientes no solo e quando necessário, realizar as interferências com doses variáveis. Dellamea (2008) obteve resultados semelhantes, analisando a eficiência da adubação em taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, no qual, realizaram dois mapeamentos da

área (2005 e 2007), encontrando em 2007 níveis satisfatórios do K, apesar de ter apresentado certa heterogeneidade do elemento no solo.

O atributo químico P apresentou CV médio em 2010 de 19,17%, enquanto que em 2013, o mesmo foi de 12,94%. Observa-se que ocorreu diminuição de 6,23%, mostrando uma área menos heterogênea e com menor variabilidade espacial. Apesar de ter ocorrido uma diminuição do CV, nota-se que a área continua apresentando manchas semelhantes nos mapas temáticos de 2010 e de 2013 (Figura 9). Isso pode ser explicado pelo fato em que esse elemento não sofreu interferência à taxa variável, pois já apresentava em níveis ideais, inclusive sofreu pequena diminuição na média de 29,76 para 29,08 mg dm^{-3} em 2010 e 2013, respectivamente. Também se pode notar, que as manchas praticamente não mudaram de local, apenas ocorreu pequenas variações nos níveis de P. Com isso, houve a migração de classes dos mapas para as classes vizinhas, porém as manchas permanecem destacadas.

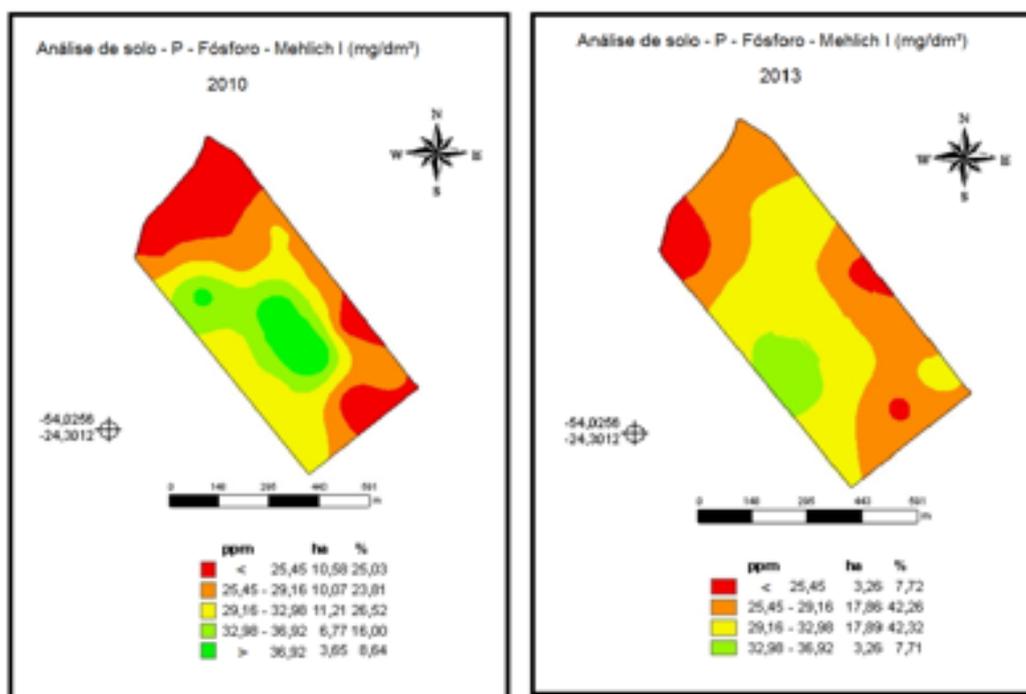


FIGURA 9 - Variabilidade espacial do P no solo (2010 e 2013), para a área experimental, Terra Roxa, PR.

No mapa temático do P em 2013, algumas manchas do atributo na área se encontra com níveis mais baixos ($22,5 \text{ mg dm}^{-3}$), provavelmente por causa do pH mais alto em 2013 ($>5,36$), explicando o fato que o pH do solo influencia a disponibilidade do P. Assim sendo, nas manchas de maior pH na área existe uma tendência de ocorrer menor quantidade de P, pois ocorre maior disponibilidade do mesmo para as plantas, ocasionando um menor acúmulo no solo quando são realizadas as adubações de manutenção com P.

Desta forma, é importante ressaltar a avaliação do conjunto dos nutrientes presentes no solo, tanto o nível como o equilíbrio entre os mesmos, para que o excesso ou a deficiência de um único elemento não prejudique a

absorção de outros, limitando que a expresse seu potencial de produtividade.

CONCLUSÕES

As aplicações de calcário calcítico e cloreto de potássio à taxa variável proporcionaram aumentos médios nos atributos químicos pH, K, V e do K.

Ocorreu diminuição no coeficiente de variação em todos os atributos químicos estudados, mostrando que a área ficou mais homogênea, ou seja, diminuiu a variabilidade espacial.

Os mapas temáticos foram essenciais para o entendimento e avaliações da variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, bem como a variabilidade

espacial e a heterogeneidade dos elementos no solo podem ser diminuídas com o uso da taxa variável.

Com a correção à taxa variável, ocorre alternância de regiões identificadas nos mapas temáticos, uma vez que, quando se faz interferência adicionando produtos à taxa variável, eleva-se o nível do mesmo nas manchas que recebem aplicação e diminui-se em manchas que não recebem devido absorção pelas plantas ou mesmo por outros processos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1101-1110, 2007.
- AMADO, T.J.C.; PES, L.Z.; LEMAINSKI, C.L.; SCHENATO, R.B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.831-843, 2009.
- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R.F.D.; ASSIS JUNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.3, p.415-422, 2007.
- BAIO, F.H.R.; BALASTREIRE, L.A.; TORRES, F.; RIBEIRO FILHO, A.C. Avaliação da acurácia de uma barra de luz utilizada na agricultura de precisão, em relação ao marcador de espuma. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, 2001.
- CAMPOS, M.C.C.C.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M.; MONTARANI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.297-304, 2009.
- CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; BASSO, C.J.; EITELWEIN, M.T.; VIAN, A.L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.
- CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; MENEGOL, D.R.; DA ROS, C.O.; PIAS, O.H.C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v.44, p.425-432, 2014.
- COCCO, V.C. et al. Evolução da saturação de bases do solo em plantio direto sob pivô. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E MAQUINAS PRECISAS, 2., 2013, Não-Me-Toque, RS. **Anais... Não-Me-Toque, RS**, 2013.
- COELHO, A.M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. (Documentos, 46).
- CORÁ, J.E.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.374-387, 2006. DOI: 10.1590/S0100-69162006000200005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA SOJA). **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. p.255.
- DELLAMEA, R.B.C. **Eficiência da adubação a taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no rio grande do sul**. 2008. 161f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- GOMES, N.M.; FARIA, M.A.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; VIOLA, M.R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.427-435, 2007.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agrônomicos**. 3.ed. São Paulo: ANDA, 2000.
- MAGALHÃES, O.H.B.; FABRI, A.L.; CALARGA, H. **Agricultura de precisão: gestão da lavoura**. Curitiba: SENAR, 2012. p.60.
- MATIAS, S.S.R.; NÓBREGA, J.C.A.; NÓBREGA, R.S.A.; ANDRADE, F.R.; BAPTISTEL, A.C. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.9, n.1, p.17-26, jan./mar. 2015.
- MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, 2010a. p.83.
- MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão: situação atual e perspectivas**. Piracicaba, 2010b.
- MOLIN, J.P.; CASTRO, C.N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agrícola**, v.65, n.6, p.567-573, 2008.
- NANNI, M.R.; POVH, F.P.; DAMATTÊ, J.A.M.; OLIVEIRA, R.B.; CHICATI, M.L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v.68, p.386-392, 2011.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14.ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 477p.
- QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.
- SANCHEZ, R.B.; MARQUES JR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T.; MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.
- SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; CHERUBIN, M.R.; MARTIN, T.N.; PIRES, J.L.; DELLA FLORA, L.P.; BASSO, C.J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012.
- SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Using landforms to predict spatial and temporal variability of soil and orange fruit attributes. **Geoderma**, v.155, n.1-2, p.55-66, 2010.
- SENA, K.N.; LEAL, A.J.F.; BAIO, F.H.R.; GORGEN, B.R. Distribuição da variabilidade espacial dos teores de saturação de bases no solo manejados com taxa fixa e variável. In: XXX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 15.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 12.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 9.; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL, 1., 2012, Maceió, AL. **Anais... Maceió, AL**, 2012.
- SOUZA, Z.M.; CERRI, D.G.P.; MAGALHÃES, P.S.G.; SIQUEIRA, D.S. Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.250-256, 2010.
- WEIRICH NETO, P.H.; SVERZUT, C.B.; SCHIMANDEIRO, A. Necessidade de fertilizante e calcário em área sob sistema plantio direto considerando variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.338-343, 2006.
- WILDA, L.R.M. **Amostragem georreferenciada e aplicação a taxa variável de corretivos e fertilizantes: dinâmica da fertilidade do solo em lavouras de grãos do cerrado**. 2014. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.