



EFEITO DA CALAGEM E FERTILIZANTES APLICADOS À TAXA VARIÁVEL NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E CUSTOS DE PRODUÇÃO DE PASTAGEM DE CAPIM TANZÂNIA MANEJADAS INTENSIVAMENTE

A. C. de C. Bernardi^{1*}, J. O. de A. Bueno², N. Laurenti³, K. E. L. Santos⁴, T. C. Alves¹

¹Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil

²UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil

³UNICEP, Centro Universitário Central Paulista, São Carlos, SP, Brasil

⁴Atvos, Campinas, SP, Brasil

Article history: Received 30 July 2018; Received in revised form 05 November 2018; Accepted 13 November 2018; Available online 30 December 2018.

RESUMO

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é útil para o uso racional dos insumos, como na aplicação localizada de calcário e fertilizantes. O manejo intensivo de pastagens integra várias tecnologias como correção do solo e adubação, irrigação e pastejo rotacionado. O uso de calcário e o fertilizante são fatores-chave para a intensificação do manejo de pastagens, a agricultura de precisão (PA) é a ferramenta para melhorar a eficiência do uso destes insumos. O objetivo deste trabalho foi mapear e avaliar a variabilidade espacial das propriedades do solo após calagem e aplicação de fertilizante fosfatado e o custo de produção de uma pastagem manejada intensivamente. O estudo de campo foi realizado em uma área de 1,7 ha de pastagem de capim Tanzânia irrigado em São Carlos, SP. Na safra seguinte, após a correção do solo com calcário e adubação com fósforo e potássio utilizando a tecnologia da taxa variável de aplicação, amostras de solo foram coletadas a 0-0,2 m de profundidade, e cada amostra representou um piquete. A variabilidade espacial das propriedades do solo e das necessidades específicas de calcário e fertilizantes foram modeladas utilizando-se semivariogramas. A variabilidade espacial das propriedades do solo e a necessidade de calagem e adubação foram modeladas por semi-variogramas, e os dados interpolados. Os resultados mostraram que a tecnologia de aplicação em taxa variável de calcário e superfosfato simples proporcionaram aumentos dos valores do pH, P, Ca, Mg e a V%. A tecnologia da aplicação de insumos à taxa variável pode ser utilizada como ferramenta de correção e adubação do solo levando à maior homogeneidade dos atributos químicos do solo, e também na redução do custo de produção.

Palavras-chave: *Megathyrsus maximus*, capim Tanzânia, fertilidade do solo, taxa variável.

EFFECT OF LIME AND FERTILIZERS APPLIED AT VARIABLE RATE ON THE SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND PRODUCTION COSTS OF A TANZANIA GRASS PASTURE INTENSIVE MANAGED

ABSTRACT

Knowledge on spatial variability of soil properties is useful for the rational use of inputs, as in the site-specific application of lime and fertilizer. Intensive pasture management integrates

* alberto.bernardi@embrapa.br

different technologies such as soil liming and fertilization, irrigation and rotational grazing. Since the lime and fertilizer are key factors for the intensification of pasture systems, precision agriculture (PA) is the tool to improve the efficiency of use of these issues. The objective of this research was to map and evaluate the spatial variability of soil properties after liming and phosphate fertilizer applying at variable rate and production costs of an intensively managed pasture. The field study was carried out in a 1.7-ha area of Tanzania grass pasture in São Carlos, SP, Brazil. In the following season, after soil correction with limestone and fertilization with phosphorus and potassium using variable rate technology, soil samples were collected at 0-0.2 m depth, and each sample represented a paddock. The spatial variability of soil properties and site-specific liming and fertilizer needs were modeled using semi-variograms and data interpolation was done. The results showed that the variable rate technology (VRT) of limestone and simple superphosphate provided increases in pH, P, Ca, Mg and V% values. The VRT of inputs can be used as a tool for correction and fertilization of the soil leading to greater homogeneity of soil chemical attributes, and also reducing the production cost.

Keywords: *Megathyrus maximus*, Tanzania grass, soil fertility, variable rate.

INTRODUÇÃO

O manejo intensivo de pastagens integra várias técnicas que com objetivo de aumentar a produtividade da pecuária com o máximo aproveitamento dos pastos, por meio do uso de tecnologias como correção do solo e adubação, irrigação e pastejo rotacionado. A produtividade e qualidade das forragens depende da interação dos fatores solo, planta clima e animais. Dessa forma, o manejo da fertilidade do solo e do estado nutricional das pastagens é uma prática que pode ter grande impacto na produtividade e qualidade das pastagens (CANTARELLA et al., 2002). Para se alcançar a intensificação da produção pecuária, garantir altas produtividade e qualidade de forragem, longevidade, e menor impacto ambiental, bem como alta produtividade animal, um dos principais fatores a serem considerados é a correção da fertilidade do solo e o fornecimento de nutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mo, Mn e Zn) de forma equilibrada e controlada (BERNARDI et al., 2012).

No entanto, a gestão da fertilidade do solo, sem levar em conta a variação espacial dentro das áreas de produção pode afetar diretamente a produtividade e a qualidade ambiental (BERNARDI et al., 2016). A agricultura de precisão (AP) é um conjunto de tecnologias e práticas agrícolas para o tratamento desta variabilidade espacial. E,

como apresentaram Geebers & Adamchuk (2010), é um ciclo que se inicia na coleta dos dados, análises e interpretação de informações, geração das recomendações, aplicação no campo e avaliação dos resultados. A também AP pode ser entendida como uma forma de gestão do sistema de produção, que irá contribuir com a redução dos impactos ambientais e também aumentar o retorno econômico (INAMASU et al., 2011).

Bernardi et al. (2015) descreveram como a AP envolve a obtenção e processamento de informações detalhadas e georreferenciadas sobre as áreas de cultivo agrícola, visando definir estratégias de manejo mais eficientes, em especial, o uso racional de insumos. As ferramentas de AP foram utilizadas inicialmente nas culturas de grãos, mas já existem vários resultados experimentais e práticos indicando o potencial para uso nas pastagens (BERNARDI & PEREZ, 2014; BERNARDI et al., 2016).

Uma abordagem da AP baseada em zonas de manejo parte do pressuposto de que as variações de topografia, classes de solo, água e nutrientes podem ser mapeadas e as diferentes zonas delineadas. Assim, cada zona torna-se então uma unidade de gestão na qual são implementadas as aplicações de taxa variável baseadas em

sistemas globais de navegação por satélite (GNSS) para alcançar máximos rendimento, qualidade e rentabilidade econômica. Devido às características do pastejo rotativo, em que a área de pastagem pode ser dividida em sub-pastagens, denominadas "piquetes", esta subdivisão torna-se uma unidade de manejo (BERNARDI et al., 2017).

A tecnologia de aplicação em taxa variável de insumos, também conhecida pelo termo em inglês "*Variable Rate Technology*" (VRT), é realizada a partir de amostras de solo georreferenciadas coletadas grades de amostragem, que após a análise geoestatística, serve de base para a elaboração dos mapas de fertilidade do solo (GILLINGHAM, 2001; BERNARDI et al., 2015). De acordo com Resende et al. (2014), a partir de mapas de atributos químicos do solo elaboram-se mapas de fornecimento de corretivos e fertilizantes em quantidades distintas para diferentes partes do talhão, de acordo com a mudança na condição de fertilidade de um local para outro dentro da área em questão. Pode-se elaborar mapas de aplicação com taxa variável de insumos a partir de mapas de atributos químicos do solo. Essa tecnologia está difundida nos sistemas de produção de culturas anuais, mas os trabalhos de Bernardi et al. (2016, 2017) e Santos et al. (2017) mostraram as possibilidades de uso em sistema de produção pecuária com base no uso de pastagens. Richart et al. (2016) mostraram que a aplicação de calcário e

cloreto de potássio à taxa variável aumentou os valores dos parâmetros de fertilidade e tornou-os mais homogêneos em área cultivada com cana-de-açúcar.

Os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos devem ser considerados na análise da sustentabilidade de um sistema de produção. A economicidade das altas adubações utilizadas nos sistemas intensivos depende do nível de gerenciamento da propriedade agropecuária (CANTARELLA et al., 2001). A importância do controle do custo de produção na administração da propriedade agrícola tem importância na análise da eficiência da produção de processos específicos de produção, os quais indicam o sucesso do esforço de produção (NACHILUK & OLIVEIRA, 2012). E as ferramentas de AP podem ser empregadas na tomada de custos, receitas e lucros considerando as variabilidades espaço-temporais (BERNARDI et al., 2016). Griffin & Lowenberg-Deboer (2005) em revisão de vários trabalhos sobre o uso da AP, indicaram que em 68% dos casos analisados os sistemas com uso da AP foram mais rentáveis que os sistemas de cultivo convencional.

Este trabalho teve como objetivo O objetivo deste trabalho foi mapear e avaliar a variabilidade espacial das propriedades do solo após calagem e aplicação de fertilizante fosfatado e o custo de produção de uma pastagem manejada intensivamente.

MATERIAL E MÉTODOS

A área utilizada neste estudo experimento tem 1,7 ha (Figura 1) e está localizada no sistema de produção de leite da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (22°01' S e 47°54' W; 856 m acima do nível do mar), em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura média (CALDERANO et al., 1998). O clima da região (CWa) é tropical de altitude (ROLIM et al., 2007), com 1.502 mm de precipitação pluvial anual e médias de temperatura mínima e de temperatura

máxima de 16,3°C (julho) e de 23°C (fevereiro), respectivamente.

Há vinte e três anos a área estava sob cultivo de pastagem de capim Tanzânia (*Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia-1) irrigado por aspersão. A pastagem é subdividida em 32 piquetes de 0,05 ha separados por cerca elétrica. Tanto na estação do verão (chuvosa) como no inverno (seco), utiliza-se o manejo rotacionado da pastagem, no qual cada piquete é pastejado por um dia e tem 32 dias

de intervalo de descanso.

Com base nas recomendações de Santos et al. (2017) e calculadas de acordo com Oliveira et al. (2010), foi realizada a calagem (maio) e adubação com fósforo (a partir de outubro), ambas à taxa variável, e seguindo as doses estabelecidas pelos autores. A adubação com nitrogênio e potássio na dose de 600 kg/ha de N e 600 kg/ha de K₂O ocorreu em doses uniformes e parceladas, na forma de formulação NPK 20-05-20.

No inverno (agosto) foi realizada a amostragem do solo (Ano 2) na profundidade 0-0,2m, coletando-se 6 sub-amostras em cada piquete para fazer a amostra composta. As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com Primavesi et al. (2005), sendo: pH (CaCl₂), matéria orgânica (combustão úmida), P disponível (resina), K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis, e acidez potencial (H+Al). Então calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação de base (% V). A partir dos resultados da análise de solo, calculou-se novamente a necessidade de calagem e adubação com P e K utilizando-se o programa Adubapasto (OLIVEIRA et al., 2010).

As análises de geoestatística foram realizadas para todos os dados coletados de fertilidade do solo e da recomendação de calagem e fertilizantes. Para isso, foram calculados semivariogramas direcionais empíricos para as direções x e y. Modelos de semivariograma foram estimados utilizando o software Vesper (MINASNY et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2015). Para a estimativa da estrutura da variação espacial das variáveis e a semivariância (GREGO & OLIVEIRA, 2015) utilizou-se a Equação 1:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Onde,

$Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ = valores de Z na localização x e $x + h$, respectivamente, h = distância de separação e,

$N(h)$ = número de pares de comparação na distância h .

A partir do ajuste do modelo matemático, os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma $\hat{\gamma}(h)$ foram calculados: efeito pepita (C_0), variância estrutural (C); alcance da dependência espacial (a), conforme Grego & Oliveira (2015).

Os dados que não apresentaram dependência espacial, foram interpolados pelo método do inverso da distância ponderada (IDW), calculados com a equação 2:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2}\right) \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2}\right)} \quad (2)$$

Onde,

X_p : variável interpolada;

X_i : valor da variável da i -ésima localidade vizinha;

d_i : distância euclidiana entre o i -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

Os mapas de contorno foram gerados com o software Arc Gis 9.2 (Arc Map 9.2 - ESRI, Inc., Redlands, CA). As legendas dos mapas foram ajustadas para os limites das faixas de interpretação de resultados de análise de solo propostos por Rajj et al. (1996) e Alvarez Venegas et al. (1999).

Após obtenção dos mapas interpolados, foram amostrados valores nas mesmas localizações em uma grade amostral virtual de 308 pontos, distribuídos regularmente sobre o conjunto de dados preditos para a área de estudo.

A partir dos resultados obtidos neste grid virtual das recomendações de calagem e adubação em ambos os anos, e com base nos preços de mercado destes insumos, foram realizadas estimativas do custo de produção considerando o uso de ferramentas de AP. Os preços do calcário (R\$0,11 por kg) e do superfosfato simples (R\$1,60 por kg) foram

atualizados para região do estudo e convertidos para a moeda dólar (US\$1.00 =

R\$3,70). E, então, os mapas para ambos os anos foram gerados.

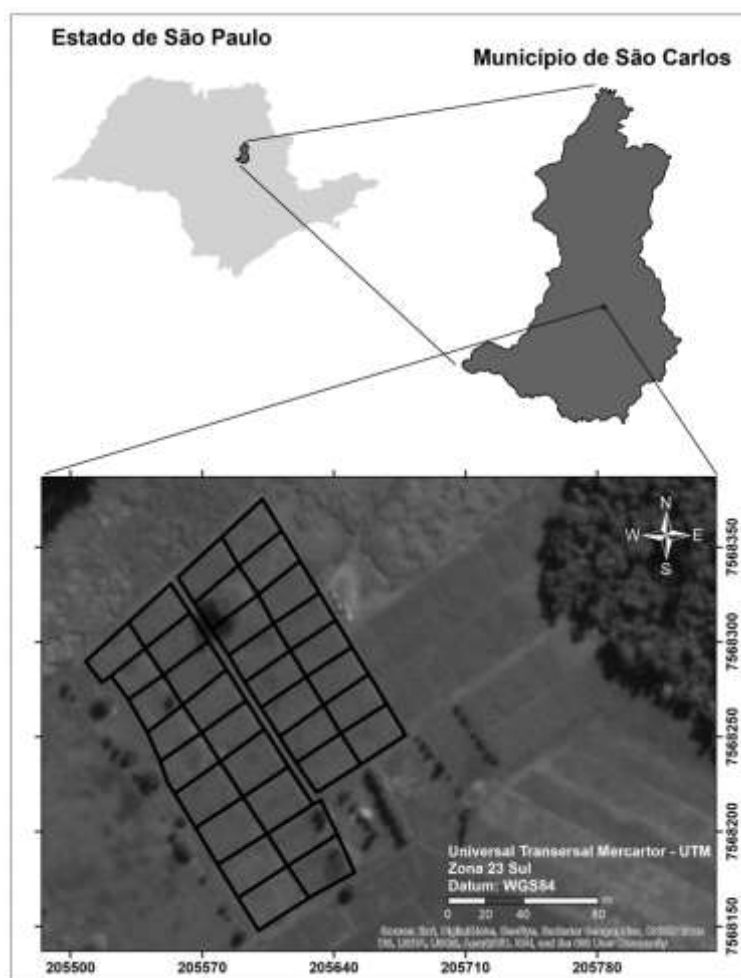


Figura 1: Localização da pastagem de capim Tanzânia irrigado por aspersão no sistema de produção de leite da Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos, SP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise descritiva dos atributos químicos e recomendação de calcário e de adubação com P e K para pastagem de capim Tanzânia manejada intensivamente estão na Tabela 1. Os valores da média e mediana, para todas as variáveis estudadas, estão próximos, indicando distribuições simétricas, com exceção da variável P solo e recomendação de adubação fosfática. Bernardi et al. (2016) também observou assimetria na distribuição dos dados de P no solo.

O coeficiente de variação (CV), apesar de ser adimensional, pode ser considerado o primeiro indicador da

heterogeneidade dos dados. Somente o pH, MO e CTC apresentaram coeficiente de variação baixo (<10%). Já os teores de Ca e Mg no solo e saturação por bases (V%) apresentaram coeficientes de variação considerados médios (entre 10% e 20%). Estes valores estão de acordo com os encontrados por Bernardi et al. (2016). Os teores de P e K no solo apresentaram CV considerados muito altos (> 30%), e concordam com os valores apresentados por Trotter et al. (2014) e Bernardi et al. (2016).

Os dados de matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), calagem e adubação potássica (KCl)

apresentam valores de curtose compatíveis com a normalidade (Tabela 1). Uma vez que, valores teóricos entre 0 e 3, indicam a distribuição normal dos dados (GREGO & VIEIRA, 2005). As demais variáveis estudadas não apresentaram distribuição normal. Essa determinação é importante pois a krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (GREGO & VIEIRA, 2005).

Os semivariogramas experimentais para as variáveis foram calculados, e todos os modelos ajustados foram delimitados para cada grade de amostragem (Tabela 2). O modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos variogramas experimentais para todas as variáveis analisadas. Apesar de Trangmar et al. (1985) já haver demonstrado que o modelo esférico é o que melhor se ajusta para descrever o comportamento de semivariogramas de parâmetros do solo. A exceção foi para K, que se ajustou ao modelo esférico. A adubação com P no solo apresentou variância aleatória ou efeito pepita puro. Isso pode ter ocorrido devido a micro variabilidade dos dados.

A relação entre efeito pepita e semivariância total pode ser utilizada como critério para classificar a dependência

especial de variáveis (CAMBARDELLA et al., 1994). A dependência espacial apresentada na Tabela 2 foi estabelecida com base nos critérios de Cambardella et al. (1994), e pode ser considerada forte para todas as variáveis estudadas, pois o efeito pepita foi menor que 25% do patamar. E a exceção foi K^+ , que foi considerada moderada, pois o efeito pepita ficou entre 26 e 75% do patamar.

Os alcances da dependência espacial indicados pelos modelos dos semivariogramas foram maiores para Mg, CTC, K e P com valores de 50000, 195, 98 e 84 m, respectivamente. Já para V%, calagem, pH, Ca e adubação com K foram de 13 a 69m.

Os atributos estudados apresentaram coeficientes de determinação do teste de validação cruzada acima de 0,70, indicando que os modelos ajustados aos semivariogramas estão adequados. A única exceção foi para a recomendação de calcário. Quanto menor a raiz do quadrado médio do erro (RQME), melhor será o ajuste do modelo escolhido, uma vez que este parâmetro mede a divergência entre o modelo escolhido e o conjunto de dados observados. Dessa forma, todos modelos ajustaram-se adequadamente aos dados.

Tabela 1. Estatística descritiva dos parâmetros de fertilidade do solo e recomendação de calagem e fertilizantes P e K para pastagem de capim-Tanzânia irrigado, em São Carlos - SP.

Estatística descritiva	pH	MO	P	K	Ca	Mg	CTC	V%	Calagem	SS	KCl
Média	5,64	25,72	70,8	3,2	36,19	17,47	82,5	68,43	1.316,1	17,4	193,0
Mediana	5,7	26,0	57,5	2,9	37,0	18,0	82,5	70,5	1.125,7	0,0	184,0
Desvio padrão	0,345	1,727	42,611	1,579	6,352	3,464	6,481	9,045	906,8	69,8	115,9
Mínimo	4,3	23	34	1,8	15	5	62	36	0	0	0
Máximo	6,1	30	213	9,8	47	24	95	80	3.897,1	333,3	384
CV	6,12	6,72	60,20	49,27	17,55	19,83	7,86	13,22	68,89	401,80	60,06
Curtose	6,262	0,223	5,176	9,457	3,25	4,992	2,074	4,900	1,591	16,085	-0,820
Assimetria	-1,851	0,266	2,318	2,664	-1,436	-1,650	-0,748	-1,791	0,981	4,053	-0,011
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariograma ajustados para os parâmetros de fertilidade do solo e recomendação de calagem e fertilizantes P e K para pastagem de capim-Tanzânia irrigado, em São Carlos - SP.

Variável	C0	C1	A	Modelo de Ajuste	Dependência 100[C0/(C0 + C1)]	Correspondência	R ²	R	RQME
pH	0,0057	0,0675	37	Exponencial	7,8	Forte	0,995	0,990	0,0009
P	62,83	460,7	83,92	Exponencial	12,0	Forte	0,957	0,917	0,0203
K	0,4281	0,3475	97,65	Esférico	55,2	Moderada	0,797	0,635	0,0018
Ca	0	27	22	Exponencial	0,0	Forte	0,999	0,999	0,0038
Mg	1,836	2070	50000	Exponencial	0,1	Forte	0,942	0,887	0,0006
CTC	13,23	51	195	Exponencial	20,6	Forte	0,861	0,741	0,0253
V	6,674	36	69	Exponencial	15,6	Forte	0,979	0,959	0,0461
Calagem	9656,7	190330	56,27	Exponencial	4,8	Forte	0,4832	0,233	0,608
Adubação K	2344,3	11523	12,96	Exponencial	16,9	Forte	0,996	0,993	0,115
Adubação P	-	-	-	Efeito Pepita puro	-	-	-	-	-

C_0 = efeito pepita; C_1 = variância estrutural; A = alcance.

Com base na tecnologia de aplicação a taxa variável (RESENDE et al., 2014), e nos mapas de recomendação propostos por Santos et al. (2017), avaliou-se o efeito antes (Ano 1) e depois (Ano 2) da aplicação de insumos realizada por piquete, como já havia sido proposto por Bernardi et al. (2017).

As interpolações dos mapas foram obtidas pelo método da krigagem e estão apresentadas nas Figuras 2 e 3. A partir dos limites estabelecidos para interpretação dos níveis de fertilidade do solo por Rajj et al. (1996) e Alvarez Venegas et al. (1999), elaborou-se a Tabela 3, na qual está a porcentagem de distribuição de valores dos atributos químicos na camada de 0,0-0,2 m em cada classe. Para tanto, utilizou-se os dados de Santos et al. (2017) para o Ano 1, ou seja, antes da correção e adubação do solo, e Ano 2 após a calagem e adubação.

A adubação fosfatada é fundamental, principalmente em sistemas intensivos de produção, para não limitar a resposta da planta forrageira quando são utilizados níveis elevados de N (CANTARELLA et al., 2002). Os valores de P (Figura 2A e B) estavam entre a classe média (40% - mg/dm³) antes da adubação a taxa variável,

passaram para as classes altas (66%) a muito alta (34%) após a aplicação de superfosfato simples. Os resultados comprovam que, em pastagens já formadas, a adição de P pode garantir os níveis adequados do nutriente no solo, especialmente nos sistemas intensivos, garantindo elevadas produtividade e a qualidade da forrageira (GUERI et al., 2000; CANTARELLA et al., 2002).

A figura 2 C e D ilustra os terrores de K⁺ no solo, respectivamente antes e depois da adubação de KCl. Destaca-se que este insumo foi aplicado em taxas homogênea, pois uma formulação NPK (20-05-20) foi utilizada na adubação de cobertura, o que impossibilitou a utilização das taxas variáveis. Observou-se (Tabela 3) mesmo assim que houve aumentos do macronutriente, passando da classe média (1,8 a 3,0 mmol_c/dm³) para as classes média e alta (3,1 a 6,0 mmol_c/dm³). Porém, houve diferenças localizadas, uma vez que houve diminuição do K trocável, que estava na classe mais alta no Ano 1 (região NO da figura 2C), e elevação de teores de K no Ano 2 (regiões S e SE do mapa na Figura 2D). Estes resultados confirmam que em áreas com manejo de adubação intensivo e

altas produções de matéria seca, é importante levar em consideração a extração de nutrientes e a produtividade esperada (CANTARELLA et al., 2002). Isso porque, o K trocável do solo pode ser facilmente esgotado devido à grande extração do nutriente. Portanto adubações taxas variáveis poderiam ter assegurado um balanço mais adequado.

A melhoria nos atributos químicos do solo com a aplicação superficial de calcário como observados neste trabalho seguem a tendência observada por Caires et al. (1998) e Rheinheimer et al., (2000).

Após a calagem aplicada à taxa variável, houve elevação dos teores de Ca (Figura 2 E e F) e Mg (Figura 2 G e H), como também já havia sido relatado por Caires et al. (1998), Luz et al. (2001) e Rheinheimer et al. (2000). Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram elevados na maior parte da área para as classes altas (25 a 40 mmol/dm^3) e muito alta (> 15 mmol/dm^3), respectivamente.

No Ano 1, os valores de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ (Figura 3 A e B) que estavam predominantemente (84%) na classe média,

passaram para classe baixa (85%), refletindo o efeito positivo da calagem para as pastagens, como já havia sido demonstrado por Caires et al. (1998), Luz et al. (2001), Rheinheimer et al. (2000) e Cantarella et al. (2002).

Já os valores da capacidade de troca catiônica (CTC, Figura 3 C e D), praticamente não foram alterados nas observações dos 2 anos, sendo que os valores permanecem predominantemente na classe média (43 a 86 mmol/dm^3) de acordo com a classificação proposta por Alvarez Venegas et al (1999).

Porém, os valores da saturação por bases (V%, Figura 3 E e F), seguiram a mesma tendência das bases do solo, e indica os resultados benéficos da calagem na redução da acidez potencial e elevação das bases do solo. Isso, porque os resultados foram alterados da classe média (51 a 70%) para alta (71 a 90%).

Os resultados obtidos neste 2º. ano de avaliação indicaram que os parâmetros estão mais homogêneos, como também havia demonstrado Richart et al (2016).

Tabela 3. Porcentagem de distribuição dos parâmetros de fertilidade nas classes de interpretação antes (Ano 1) e depois (Ano 2) da calagem e adubação com P e K em pastagem de capim-Tanzânia irrigado, em São Carlos - SP.

Classe de interpretação	pH*		P*		K*		Ca**		Mg**		CTC**		V%*	
	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
	%													
Muito baixa	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
Baixa	-	85	4	-	-	-	1	-	7	-	-	-	0,5	-
Media	84	15	40	-	87	44	86	-	35	-	96	80	98	40
Alta	16	-	42	66	13	56	13	82	53	-	4	20	1,5	60
Muito alta	-	-	10	34	-	-	-	18	-	100	-	-	-	-

Limites das faixas de interpretação estabelecidos com base em *Raj et al. (1996) e ** Alvarez Venegas et al. (1999). Resultados do Ano 1 obtidos a partir dos dados de Santos et al. (2017).

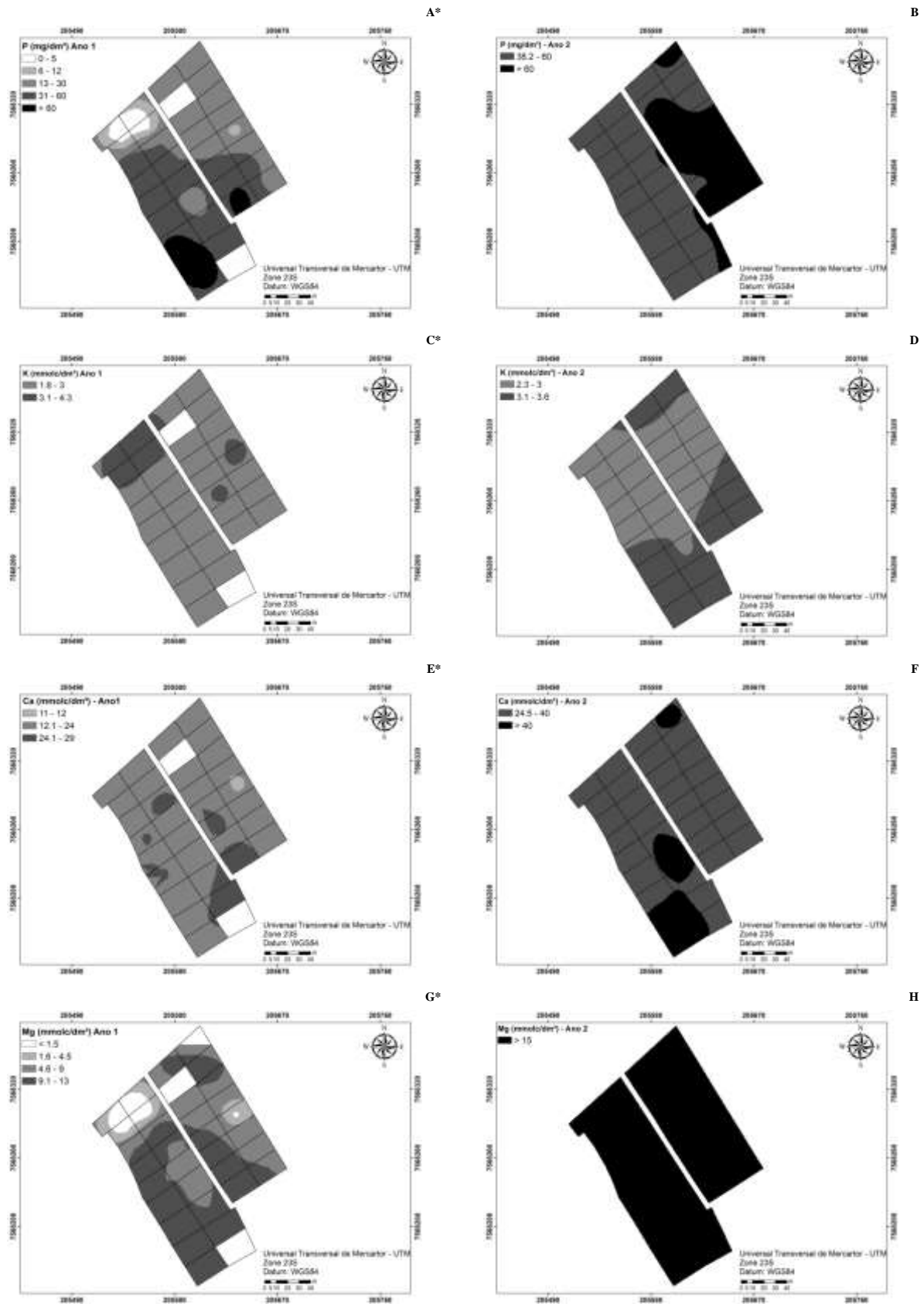


Figura 2. Mapas krigados de P (A e B), K (C e D), Ca (E e F) e Mg (G e H) trocáveis do solo sob pastagem de capim-Tanzânia irrigado avaliados em dois anos em São Carlos – SP. *Mapas do Ano 1 elaborados a partir dos dados de Santos et al. (2017).

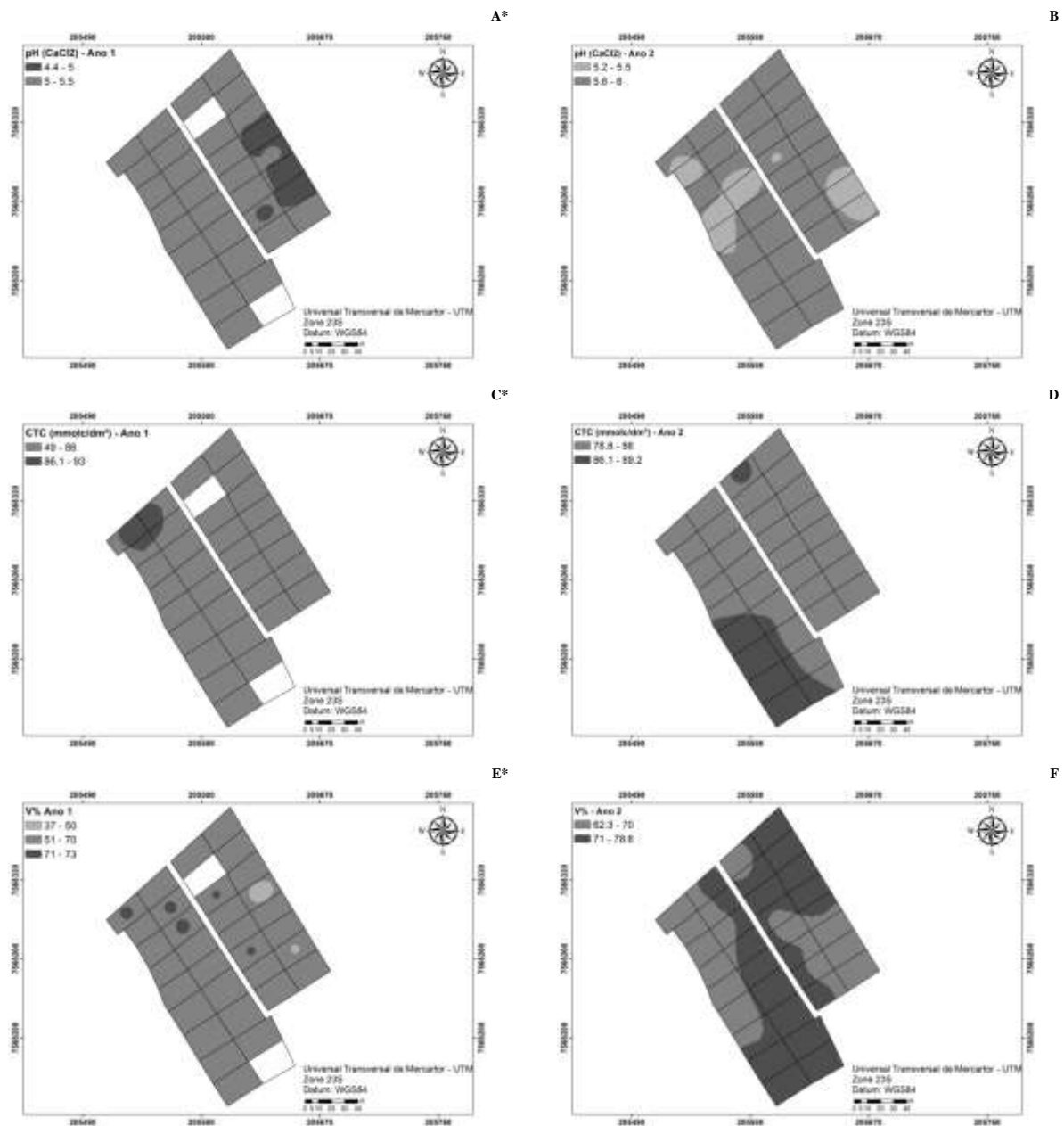


Figura 3. Mapas krigados de pH (A e B), capacidade de troca de cátions - CTC (C e D) e saturação por bases – V% (E e F) do solo sob pastagem de capim-Tanzânia irrigado avaliados em dois anos em São Carlos – SP. *Mapas do Ano 1 elaborados a partir dos dados de Santos et al. (2017).

A Figura 4 apresenta as doses de calcário, superfosfato simples e KCl para a pastagem de capim Tanzânia irrigado. As interpolações dos mapas de calagem e adubação com KCl foram obtidas pelo método da krigagem. No caso da adubação com superfosfato simples, devido ao efeito pepita puro observado (Tabela 2), não se pode usar o método geoestatístico de interpolação da krigagem, para geração do mapa. Por meio destes mapas é possível a

aplicação dos insumos a taxa variada nas unidades de aplicação definidas (CORÁ & BERALDO, 2005; BERNARDI et al., 2015).

A recomendação de doses de calcário variou de regiões com menos de 500 kg/ha (38% da área total), para outra área entre 500 e 900 kg/ha, representando cerca de 62% do total (Figura 4A). Estas doses foram muito menores que as recomendadas na safra anterior, para a mesma área, e

apresentadas por Santos et al. (2017), em que cerca de 75% da área necessitava de doses de calcário entre 1,0 e 2,7 t/ha.

O KCl não foi aplicado em taxa variável no Ano 1, então os mapas para ambos os anos não guardam correlação. Se no Ano 1 a necessidade de KCl até 100 kg/ha ocorria em cerca de 28% da área (SANTOS et al., 2017), no presente estudo esta área é menor que 9% (Figura 4 B), e em 38% da área a adubação com KCl deverá ser de 200 a 300 kg/ha.

No caso da adubação com P para a safra atual, com já foi mencionado, não havia dependência espacial, e desta forma o mapa foi gerado pelo método da ponderação do inverso da distância (IDW) (Figura 4C). A recomendação para o Ano 1 (SANTOS et al, 2017) indicava doses de 500, 1.000 e > 1.000 kg/ha de superfosfato simples em cerca de 42, 30 e 28% da área, respectivamente. Com a adubação a taxa variável, no Ano 2 as doses recomendadas em aproximadamente 91% da área foram de < 50 kg/ha de superfosfato simples.

Bernardi et al. (2016) e Trotter et al. (2014) também estabeleceram com sucesso mapas de recomendação de fertilizantes com base na disponibilidade de nutrientes do solo em sistemas de pastagem.

Os resultados obtidos confirmam que a aplicação a taxa variável destes insumos (calcário e adubo fosfatado) foram eficientes em corrigir o solo e torná-lo mais homogêneo. Contudo, um diagnóstico adequado dos fatores limitantes deve ser implementado, uma vez que o aumento das taxas de aplicação de nutrientes onde o crescimento das pastagens é limitado por outros fatores que não a fertilidade do solo pode não levar aos rendimentos esperados (GILLINGHAM, 2001).

Também é necessário destacar que estas reduções ocorreram em função das características da área em estudo. Não é possível generalizar esta informação para todas as regiões com pastagens de capim-Tanzânia manejado intensivamente, pois há várias diferenças de edafoclimáticas para cada região.

O custo agrícola envolve todos insumos, máquinas e operações, e mão de obra envolvidos desde a preparação até o produto final. Por isso é uma parte essencial da gestão da propriedade rural, sendo uma muito ferramenta útil para o gerenciamento das atividades e resultados, e para subsidiar a tomada de decisões do produtor rural (NACHILUK & OLIVEIRA, 2012).

A Figura 5 (A e B) ilustra os mapas interpolados por IDW, dos custos dos insumos calcário e superfosfato simples aplicadas à taxa variável, respectivamente, nos Ano 1 e 2. Observa-se que os custos do Ano 1, obtido com base nos dados de Santos et al (2017), apenas 28% da área apresentava custo dos insumos < US\$100.00 por ha, e que em aproximadamente 60% da área o custo era > US\$300.00 por ha. No segundo ano, após a aplicação de calcário e superfosfato simples à taxa variável o custo estimado na nova correção do solo e adubação com P foi de menos de US\$100.00 por ha em 99% da área. Dessa forma, confirma-se que com o uso da AP foi possível a espacialização dos custos dos insumos aplicados a taxa variável em ambos anos de observação. A análise econômica positiva do uso da AP também já havia sido relatada por Griffin & Lowenberg-Deboer (2005).

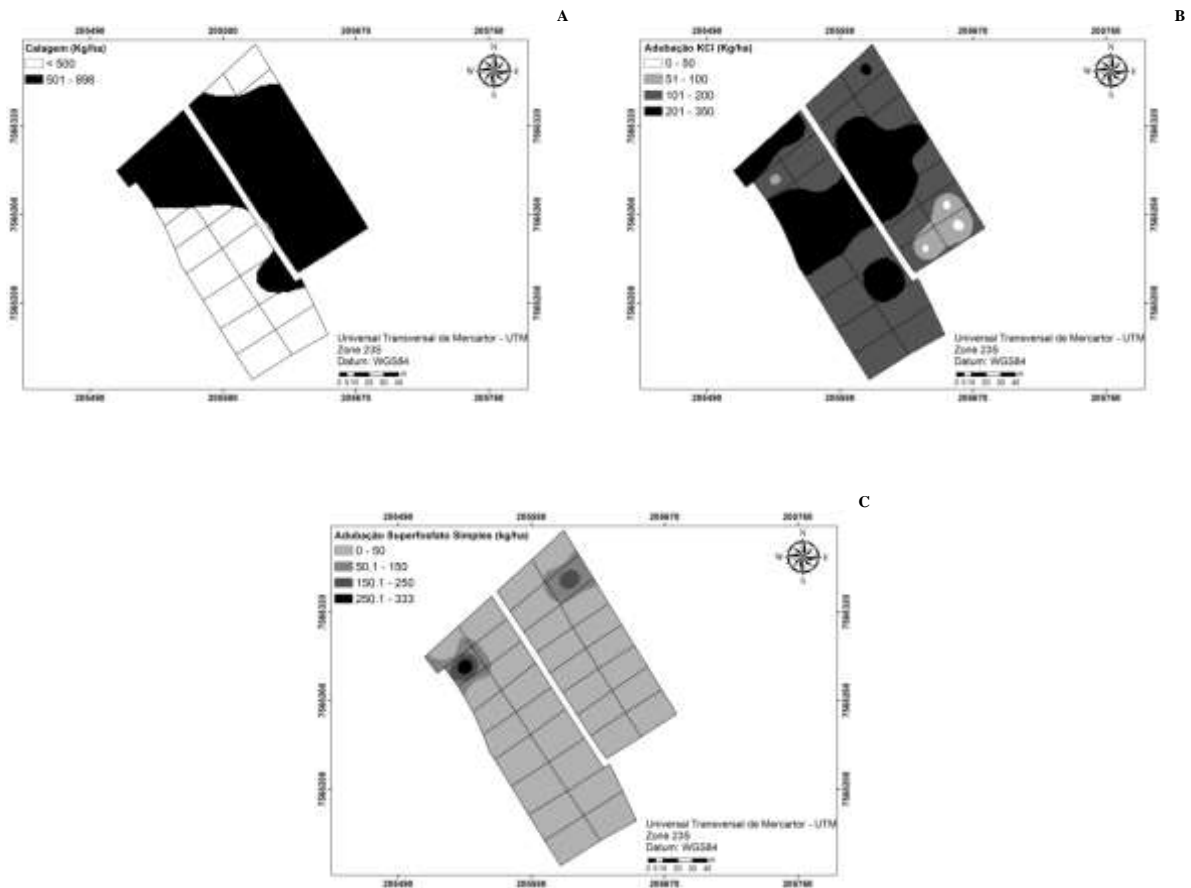


Figura 4. Mapas interpolados por krigagem de calagem (A) e adubação com K (B) e por IDW da adubação com P (C) na pastagem de capim-Tanzânia irrigado, em São Carlos – SP.

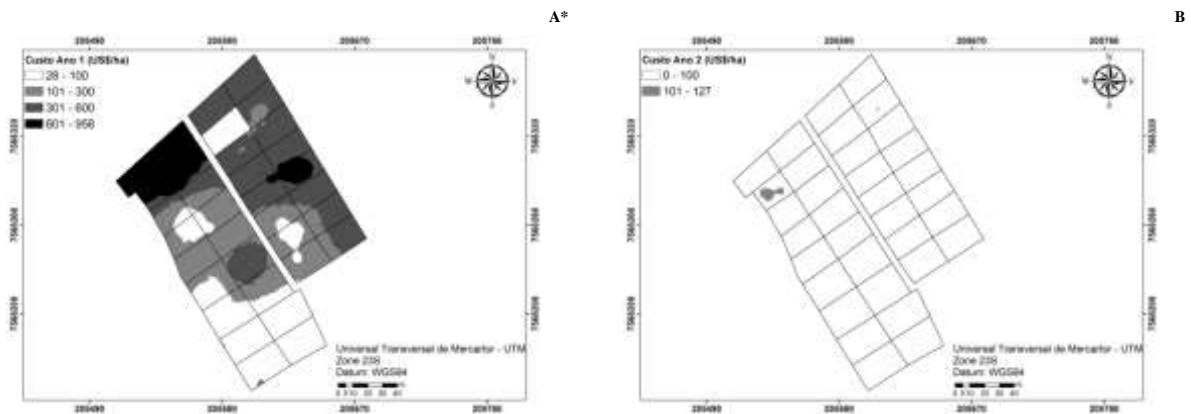


Figura 5. Mapas dos custos dos insumos calcário e superfosfato simples aplicadas à taxa variável no Ano 1 (A) e Ano 2 (B) em pastagem de capim-Tanzânia irrigado, em São Carlos – SP. *Mapas de custos do Ano 1 elaborados a partir dos dados de Santos et al. (2017).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos na área conclui-se que a tecnologia de

aplicação em taxa variável de calcário e superfosfato simples proporcionou

aumentos dos valores do pH, P, Ca, Mg e a V%. A tecnologia da aplicação de insumos à taxa variável pode ser utilizada como ferramenta de correção e adubação do solo

levando à maior homogeneidade dos atributos químicos do solo, e também na redução do custo de produção.

AGRADECIMENTOS

Ao International Potash Institute (IPI) pelo apoio financeiro na condução

deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ VENEGAS, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1999. p.25-32.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M. B.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 211-227, 2015.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; FERREIRA, R. P.; SANTOS, K. E. L.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. **Precision agriculture**, v. 17, p. 737-752, 2016.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; MAZZUCO, G. G.; ESTEVES, S. N.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Spatial variability of soil fertility in an integrated crop livestock forest system. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n.2, p. 590-593, 2017.

BERNARDI, A. C. C.; GIMENEZ, L. M.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Aplicação de fertilizantes a taxas variáveis. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (Org.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. 1ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 153-164

BERNARDI, A. C. C.; PEREZ, N. B. Agricultura de precisão em pastagens. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU,

R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 492-499.

BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, P.P.A.; PRIMAVESI, O. **Soil fertility of tropical intensively managed forage system for grazing cattle in Brazil**. In: WHALEN, J.K. Soil fertility improvement and integrated nutrient management - a global perspective. Rijeka, Croatia: Intechopen, 2012. p. 37-56. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/soil-fertility-improvement-and-integrated-nutrient-management-a-global-perspective/soil-fertility-of-tropical-intensively-managed-forage-system-for-grazing-cattle-in-brazil>.

CAIRES, F. E.; CHVEIRI, A. W.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.

CALDERANO FILHO, B., SANTOS, H.G., FONSECA, O.O.M., SANTOS, R.D., PRIMAVESI, O. E PRIMAVESI, A.C. 1998. **Os solos da Fazenda Canchim**, Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste, São Carlos, SP: levantamento semidetalhado, propriedades e potenciais. Embrapa-CPPSE, São Carlos. Boletim de Pesquisa.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n.5, p. 1501-1511, 1994.

CANTARELLA, H.; CORREA, L.A.;

- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: **Anais do Simpósio sobre Manejo de Pastagens**. Piracicaba: FEALQ. 2002. p.99-131.
- 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, n.2, p.374-387, 2006.
- GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V.I. Precision agriculture and food security. **Science**, v.327, n.5967, p. 828-31, 2010.
- GILLINGHAM, A. G. Precision management of fertiliser application to pasture. Proceedings of the Regional Institute, Geo-spatial Information in Agriculture Conference, 2001. Paper no. 534. p. 534-541. Disponível em: <http://www.regional.org.au/au/gia/16/534gillingham.htm>
- GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. Conceitos básicos da Geoestatística. In: OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDAO, Z. N. (Ed.). **Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 3, p. 41-62.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 02, p. 169-177, 2005.
- GRIFFIN, T. W.; LOWENBERG-DEBOER, J. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture: implications for Brazil. **Revista de Política Agrícola**, v.14: 20-38, 2005.
- INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; QUEIROS, L. R.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. de F.; JORGE, L. A. C.; BASSOI, L. H.; PEREZ, N. B.; FRAGALLE, E. P. Agricultura de precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 14-26.
- LUZ, P. H.; HERLING, V. R.; PETERNELLI, M.; BRAGA, G. J. Calagem e adubação no manejo intensivo do pastejo. In: EVANGELISTA, A.R.; SALES, E. C. J.; SIQUEIRA, G. R.; LIMA, J. A., eds., **Anais do 2º Simpósio de Forragicultura e Pastagens: temas em evidência**. Lavras: Univ. Federal de Lavras, 2001. p.27-110.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. **VESPER version 1.62**. Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sidney. 2005. Disponível em: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>. Consultado em 22 julho 2011.
- NACHILUK, K.; OLIVEIRA, M. D. M. Custo de produção: Uma importante ferramenta gerencial na agropecuária. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v.7, p.1-10, 2012.
- OLIVEIRA, P. P. A.; BERNARDI, A. C. C.; SANTIAGO, R. R.; SILVA, R. F. **Software adubapasto 1.0 para recomendação de calagem e adubação para sistemas de pastejo intensivo**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 98).
- OLIVEIRA, R. P. Vesper. In: OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDAO, Z. N. (Ed.). **Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 65-82.
- PAIVA, C. A. V.; JUNTOLLI, F. V.; CARVALHO, L. F. R.; BERNARDI, A. C. C.; TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G. R. Pecuária leiteira de precisão. In: VILELA, D.; FERREIRA, R. P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V. (Ed.). **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 307-323.
- PRIMAVESI, A. C.; ANDRADE, A. G.; ALVES, B. J. R.; ROSSO, C.; BATISTA, E. M.; PRATES, H. T.; ORTIZ, F. R.; MELLO, J.; FERRAZ, M. R.; LINHARES, N. W.; MACHADO, P. L. O. A.; MOELLER, R.; ALVES, R. C. S.; SILVA, W. M. Métodos de análise de solo. In: NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 67-130.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. FURLANI, A.M.C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para**

o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico, 1996. p.8-13.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; COELHO, A. M.; CORAZZA, E. J.; VILELA, M. F.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; BASSOI, L. H.; NAIME, J. M. Agricultura de precisão no Brasil: avanços e impactos no manejo e na conservação do solo, na sustentabilidade e na segurança alimentar. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Ed.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 468-488.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.E. & GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.795-805, 2000.

RICHART, A.; PICCIN, A. L.; KONOPATZKI, M. R. S.; KAEFER, K. A. C.; MORATELLI, G.; KAEFER, J. E.; ECCO, M. Análise espaço-temporal de atributos químicos do solo influenciados pela aplicação de calcário de cloreto de potássio em taxa variável.

Scientia Agraria Paranaensis, v. 15, n. 4, p. 391-400, 2016.

ROLIM, G. D. S.; CAMARGO, M. B. P. D.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. D. Climatic classification of Köppen and Thornthwaite systems and their applicability in the determination of agroclimatic zoning for the state of São Paulo, Brazil. **Bragantia**, v.66, n.4, p.711-720, 2007.

SANTOS, K. E. L.; BERNARDI, A. C. de C.; BETTIOL, G. M.; CRESTANA, S. Geoestatística e geoprocessamento na tomada de decisão do uso de insumos em uma pastagem. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, n. 3, p. 294-307, 2017.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-93, 1985.

TROTTER, M.; GUPPY, C.; HALING, R.; TROTTER, T.; EDWARDS, C.; LAMB, D. Spatial variability in pH and key soil nutrients: is this an opportunity to increase fertiliser and lime-use efficiency in grazing systems? **Crop and Pasture Science**, v.65, p. 817-827, 2014.