

Efeito do uso prolongado de esterco líquido de suínos e adubo nitrogenado sobre os componentes da acidez do solo

Eloi Erhard Scherer¹, Evandro Spagnollo², Jorge Luis Mattias³ e Ivan Tadeu Baldissera⁴

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos, a longo prazo, da aplicação de esterco líquido de suínos e nitrogênio mineral sobre a acidez do solo com cultivo de gramíneas no sistema plantio direto. Os tratamentos constaram de 0, 60, 120 e 180kg/ha de N aplicado de 1996 a 1999 uma vez por ano, e de 2000 a 2009 duas vezes por ano, de duas fontes de adubo: esterco líquido de suínos (N-ELS) e nitrato de amônio (N-NA). Em 2010, foram coletadas amostras de solo nas camadas de até 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 40 a 50cm de profundidade e analisadas quanto ao pH e aos cátions trocáveis (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e calculada a saturação por bases e por Al. A aplicação continuada de N-NA reduziu o pH do solo e aumentou os teores de Al^{3+} até 30cm de profundidade. O aumento da acidez foi acompanhado da diminuição dos teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} até 20 e 30cm de profundidade respectivamente. Esse aumento da acidez trocável e a diminuição dos cátions básicos no solo resultaram em baixa saturação por bases até 30cm de profundidade. A aplicação de N-ELS não causou alterações significativas no pH, nos teores de Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} nem na saturação por bases.

Termos para indexação: adubação orgânica, nitrato de amônio, pH do solo, alumínio trocável, saturação por bases, plantio direto.

Effect of prolonged use of liquid swine manure and nitrogen fertilization on components of soil acidity

Abstract – The objective of this study was to examine the long-term effects of liquid swine manure and mineral nitrogen applications on soil acidity attributes of a clay loam no-till Oxisol. Four treatment levels of nitrogen (0, 60, 120 and 180kg/ha) were administered yearly from 1996 to 1999, and twice a year from 2000 to 2009 as ammonium nitrate (N-AN) and liquid swine manure (N-LSM). In 2010, soil samples were taken from up to 2.5, 2.5 to 5, 5 to 10, 10 to 20, 20 to 30, and 40 to 50cm depths and analyzed for pH, exchangeable cations (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+), and Al and base saturation percentage were calculated. Long-term N-AN fertilization reduced soil pH and increased exchangeable Al in the 30cm top soil. This acidity increase was accompanied by decrease exchangeable Ca^{2+} in the top 20cm and Mg^{2+} in the 30cm top soil. Significant increases in exchangeable acidity and decreases in exchangeable bases with N-AN fertilization resulted in a little base saturation in the 30cm top soil. The N-LSM application did not cause any significant change in soil pH, exchangeable Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} or base saturation.

Index terms: organic fertilization, ammonium nitrate, soil pH, exchangeable aluminum, base saturation, no-tillage.

Introdução

A suinocultura ocupa lugar de destaque no agronegócio catarinense, porém a viabilidade econômica e a integridade ambiental do sistema de produção adotado, com criação intensiva e confinamento total dos animais, dependem do manejo da criação e da destinação dada aos resíduos produzidos. Na maioria dos estabelecimentos, o esterco é coletado e armazenado na forma líquida e utilizado como fertilizante, tecnologia que já está relativamente bem documentada

na literatura brasileira (Assmann et al., 2007; Ceretta et al., 2003; Comin et al., 2007; Scherer et al., 2007). Por outro lado, existe pouca informação sobre uso do esterco como condicionador do solo e sua influência nos componentes de acidez do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a alteração de atributos relacionados à acidez do solo, no sistema plantio direto, após 14 anos com sucessivas aplicações de esterco líquido de suínos e adubo nitrogenado mineral em culturas anuais.

Material e métodos

Para o presente estudo foram coletadas amostras de solo em um experimento de longa duração, em que foi usado intensivamente esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA) para suprimento de nitrogênio (N) a gramíneas anuais, cultivadas no sistema plantio direto. O experimento foi instalado em 1996 (Figura 1), em um Latossolo Vermelho Distroférico, em plantio direto, em área localizada no município de Chapecó, SC, (27°07' latitude sul,

Aceito para publicação em 31/5/12.

¹ Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri / Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Cepaf), C.P. 791, 89801-970 Chapecó, SC, fone: (48) 3361-0600, e-mail: escherer@epagri.sc.gov.br.

² Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri / Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Cepaf), e-mail: spagnollo@epagri.sc.gov.br.

³ Engenheiro-agrônomo, Dr., Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), C.P. 181, 89812-000 Chapecó, SC, fone: (49) 2049-1401, e-mail: jorgemattia@gmail.com.

⁴ Engenheiro-agrônomo, M.Sc., Epagri / Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Cepaf), e-mail: ivantb@epagri.sc.gov.br.

52°37' longitude oeste, altitude 679m). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa (Epagri, 2002).

Em 1996, o solo apresentou, nas camadas de até 10 e de 10 a 20cm, respectivamente: pH em água, 5,8 e 5,7; Al trocável, 0 e 0cmol/dm³; Ca trocável, 5,3 e 4,5cmol/dm³; Mg trocável, 3,2 e 2,6cmol/dm³; P extraível, 9 e 6,2mg/dm³; K extraível, 155 e 126mg/dm³; H + Al, 3,89 e 4,38cmol/dm³; saturação por bases, 58,23% e 49,48%; saturação por Al, 0% e 0%; matéria orgânica, 34 e 26g/dm³; argila, 630 e 640g/kg, analisadas conforme descrito em Tedesco et al. (1995).

A condução do experimento constituiu-se de uma fase inicial, período de 1996 a 1999, em que foi cultivado milho no verão e aveia-preta no inverno, e de uma segunda fase, 2000 a 2009, em que foram cultivadas, no inverno, aveia-preta ou aveia + azevém, e no verão, sorgo forrageiro ou milheto.

Os tratamentos constituíram-se da aplicação de doses anuais de 0, 60, 120 e 180kg/ha de N, na forma de nitrato de amônio (N-NA) ou de esterco líquido de suínos (N-ELS) aplicadas de 1996 a 1999, na cultura do milho, e bianuais de 2000 a 2009 (Figura 2), aplicadas na semeadura das forrageiras de inverno e de verão, totalizando 24 aplicações. Algumas características do ELS utilizado podem ser visualizadas na Tabela 1.

Os tratamentos foram arrançados em fatorial 4 x 2, em blocos ao acaso com três repetições. As unidades experimentais tinham área total de 5 x 6m e área útil de 20m² para coleta de solo e avaliação de produtividade das culturas.

Em 2003, foram aplicadas 3t/ha de calcário na superfície do solo, distribuídas uniformemente em todas as parcelas, visando principalmente reduzir a acidez ativa do solo, resultante da aplicação de maiores doses de N-NA, que poderia influenciar negativamente no desenvolvimento das plantas.

Em março de 2010, após 14 anos de aplicação continuada das doses de N-ELS e N-NA, foram coletadas amostras de solo para avaliar alguns atributos químicos relacionados com a acidez do

solo. As amostras foram coletadas nas camadas até 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30cm de profundidade com pá de corte, e com trado holandês na camada de 40 a 50cm. No solo foram determinados pH em água na relação 1:1 solo:água; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis. Foi também calculada a saturação por bases (V) e por alumínio (m) e a acidez potencial (H+Al), as quais foram estimadas pelo índice SMP. As metodologias de análise usadas estão descritas em Tedesco et al. (1995).

Os dados dos atributos do solo foram submetidos à análise de variância considerando o modelo fatorial (doses x fontes) com parcelas subdivididas (camadas). Quando o efeito de dose foi sig-

Tabela 1. Características do esterco líquido de suínos usado na pesquisa

Variável	Ano de amostragem											Média
	96-99	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
pH	7,1	7,1	7,0	7,3	6,8	7,2	7,4	7,3	7,1	7,3	7,2	7,15
MS (%)	3,10	3,92	3,26	2,22	4,38	3,96	4,17	2,62	2,76	3,6	3,41	3,34
N (kg/m ³)	3,01	5,36	3,45	2,54	4,36	5,37	4,21	2,46	2,72	3,51	3,12	3,51
P ₂ O ₅ (kg/m ³)	1,82	2,15	1,83	1,19	1,61	2,56	2,98	1,99	1,74	1,78	2,10	1,95
K ₂ O (kg/m ³)	1,40	1,67	1,27	1,00	2,41	1,66	1,92	0,84	0,79	1,19	0,98	1,38
Ca (kg/m ³)	1,36	2,23	0,85	1,44	-	1,29	2,01	0,76	1,72	1,13	0,68	1,34
Mg (kg/m ³)	0,92	1,68	0,92	0,40	-	0,93	1,13	0,24	0,24	0,72	0,43	0,79
Cu (g/m ³)	-	-	-	15	-	22	31	25	14	21	32	23
Zn (g/m ³)	-	-	-	42	-	52	58	27	27	38	37	40
Mn (g/m ³)	-	-	-	21	-	24	42	33	18	21	38	28



Figura 1. Vista geral do experimento na Epagri/Cepaf, em Chapecó, SC

nificativo pelo teste F a 5%, foram ajustadas equações polinomiais para cada fonte de nutrientes em relação à dose de N dentro de cada camada de solo. A comparação de médias dos atributos entre camadas de solo foi realizada pelo teste Tukey a 5%.

Resultados e discussão

A aplicação de nitrogênio na forma de nitrato de amônio (N-NA) por vários anos consecutivos provocou redução dos valores de pH e aumento dos teores de alumínio trocável (Al³⁺) no perfil do solo até a profundidade de 30cm, não se observando efeito significativo na camada de 40 a 50cm (Tabela 2). O esterco líquido de suínos (N-ELS) não influenciou significativamente o pH e os teores de Al³⁺ do solo em nenhuma das camadas amostradas. ▶



Figura 2. Aplicação de esterco de suínos na cultura da aveia. Epagri/Cepaf, Chapecó, SC

Os resultados obtidos com aplicação de N-NA estão de acordo com a maioria daqueles citados na literatura com utilização de adubos amoniacais (Campos, 2004; Eghball, 1999; Lange et al., 2006; Matowo et al., 1999; Schwab et al., 1989) em função de seu efeito acidificante devido à nitrificação do íon amônio. Já quando foi utilizado N-ELS, reduções no pH foram observadas por Adeli et al. (2008), enquanto Assmann et al. (2007), em cultivo de gramíneas forrageiras, constataram aumento do pH do solo na camada arável (até 20cm) com aplicação de 80m³/ha de ELS. King et al. (1990), por sua vez, relatam que o efeito do ELS sobre o pH do solo depende da quantidade adicionada. Com aplicação de doses de até 670kg/ha de N por ano, como ELS, obtiveram aumento de até 0,5 unidade de pH, enquanto com a aplicação de 1.340kg/ha o pH diminuiu 0,3 unidade.

De modo geral, o pH do solo no tratamento sem adubo nitrogenado e N-ELS ficou pouco acima do encontrado na condição inicial (1996), indicando que a aplicação de 3t/ha de calcário na superfície, em 2003, foi suficiente para corrigir a acidez do solo em plantio direto no período avaliado.

O valor do pH em função das doses de N-NA indicou significância para efeito linear negativo em todas as camadas de solo amostradas, até 30cm

de profundidade. O coeficiente angular das regressões foi maior nas camadas superficiais, decrescendo à medida que a profundidade aumentou, o que indica maior influência do N-NA sobre o pH nas camadas superficiais. Resultados semelhantes foram encontrados por Campos (2004), Guzman et al. (2006) e Lange et al. (2006), que observaram maior acidificação nas camadas superficiais do solo com plantio direto com aplicação de fertilizantes amoniacais.

A análise de regressão polinomial para expressar a dependência dos teores de Al³⁺ em função das doses de N-NA indicou significância para efeito linear negativo em todas as camadas de solo amostradas, até 30cm de profundidade. Os coeficientes angulares das equações nas três camadas superiores foram semelhantes e em maior magni-

Tabela 2. Valores de pH e alumínio trocável em diferentes camadas do solo e respectivas equações de regressão e coeficientes de determinação, de acordo com as doses de nitrogênio aplicadas como esterco líquido de suínos (N-ELS) e nitrato de amônio (N-NA) no período de 1996 a 2009

Fonte	Camada de solo (cm)	Dose de N (kg/ha/cultivo)				Regressão	R ²
		0	60	120	180		
pH (H₂O 1:1)							
N-ELS	Até 2,5	5,97a	5,80a	5,77ab	5,40a	ns	-
	2,5 a 5	5,97a	5,73a	5,80a	5,32ab	ns	-
	5 a 10	5,77a	5,57ab	5,50b	5,00b	ns	-
	10 a 20	5,70ab	5,37b	5,37b	5,13ab	ns	-
	20 a 30	5,33bc	4,83c	5,03c	5,00b	ns	-
	40 a 50	5,03c	4,83c	4,90c	4,90b	ns	-
N-NA	Até 2,5	5,97a	5,10a	4,37c	3,83c	$\hat{y} = 5,89 - 0,0119x$	0,89*
	2,5 a 5	5,97a	4,87a	4,20c	3,87c	$\hat{y} = 5,77 - 0,0116x$	0,86*
	5 a 10	5,77a	4,93a	4,47bc	3,83c	$\hat{y} = 5,69 - 0,0105x$	0,92*
	10 a 20	5,70ab	5,10a	4,83ab	3,93bc	$\hat{y} = 5,73 - 0,0093x$	0,87*
	20 a 30	5,33bc	5,03a	5,06a	4,30ab	$\hat{y} = 5,39 - 0,0051x$	0,62*
	40 a 50	5,03c	5,00a	5,00a	4,57a	ns	-
Alumínio trocável (cmol/dm³)							
N-ELS	Até 2,5	0,0	0,0	0,0	0,13b	ns	-
	2,5 a 5	0,0	0,0	0,0	0,63b	ns	-
	5 a 10	0,0	0,2b	0,0	1,03ab	ns	-
	10 a 20	0,0	0,37b	0,23bc	1,10ab	ns	-
	20 a 30	0,83b	1,77a	1,30ab	1,27ab	ns	-
	40 a 50	1,87a	2,30a	1,90a	1,67a	ns	-
N-NA	Até 2,5	0,0	0,47c	2,03bc	3,50a	$\hat{y} = -0,31 + 0,0201x$	0,90*
	2,5 a 5	0,0	1,50ab	3,07a	3,63a	$\hat{y} = 0,18 + 0,0208x$	0,91*
	5 a 10	0,0	1,27abc	2,60ab	3,90a	$\hat{y} = -0,52 + 0,0238x$	0,78*
	10 a 20	0,0	1,20bc	1,23c	3,83a	$\hat{y} = -0,16 + 0,0192x$	0,80*
	20 a 30	0,83b	1,67ab	1,17c	3,07ab	$\hat{y} = 0,75 + 0,0104x$	0,54*
	40 a 50	1,87a	2,20a	1,70bc	2,54b	ns	-

Nota: Médias seguidas de letras iguais, nas colunas para mesma fonte de adubo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns = modelo de regressão não significativo.

* = significativo a 5 % de probabilidade.

tude do que os das camadas inferiores. Isso mostra que o efeito do N-NA sobre o Al^{+3} foi maior nas camadas até 10cm de profundidade, no período avaliado, coincidindo com a camada amostrada para diagnóstico da fertilidade do solo no sistema plantio direto (Comissão..., 2004).

Por outro lado, com aplicação de N-ELS, à semelhança do verificado em solo não adubado com N, o Al^{+3} manteve-se neutralizado ou ficou próximo de zero nas camadas superficiais do solo, e permaneceu alto nas camadas inferiores. Isso mostra que o N-ELS não teve efeito sobre o Al^{+3} , corroborando resultados de Scherer et al. (2007) com uso de ELS em dois Latossolos da Região Oeste Catarinense. Há, no entanto, inúmeros resultados que mostram redução dos teores de Al^{+3} no solo com a aplicação de dejetos animais (Hue & Licudini, 1999; Ceretta et al., 2003; Ernani & Gianello, 1983).

A acidez potencial (H + Al) teve comportamento semelhante ao Al^{+3} , observando-se aumento dos valores com uso de N-NA e maior estabilidade e menores valores nos tratamentos com N-ELS (Tabela 3). Os efeitos do N-NA sobre a acidez potencial foram proporcionais às doses aplicadas. O coeficiente angular das regressões situou-se entre 0,0835 e 0,0827 nas quatro primeiras camadas e diminuiu para 0,0473 na camada de 20 a 30cm, evidenciando maior acidificação do solo até 20cm de profundidade. Esses resultados demonstram que a acidificação do solo provocada pelos adubos nitrogenados amoniacais em aplicação superficial não se restringe à camada superficial, mas afeta também as subsuperficiais. Esse fato também foi observado por Lange et al. (2006) em Latossolo com aplicação de até 160kg/ha de N em milho, cultivado no sistema plantio direto, e por Schwab et al. (1989), com aplicação de doses de até 224kg/ha de N na forma de NA, por 40 anos em gramíneas forrageiras.

Não houve efeito significativo do N-ELS sobre os teores de cálcio (Ca^{2+}) e de magnésio (Mg^{2+}) no solo nas profundidades estudadas, ao passo que o N-NA reduziu linearmente os teores de Ca^{2+} nas quatro primeiras camadas e de Mg^{2+} nas cinco primeiras camadas avaliadas (Tabela 4). Redução dos teores de Ca

e Mg nas camadas superficiais do solo com aplicação de altas doses de fertilizantes amoniacais também foi constatada em outros trabalhos de pesquisa (Campos, 2004; Guzman et al., 2006; Lange et al., 2006; Schwab et al., 1989). A maioria dos autores atribui o fato à acidificação do solo causada pela nitrificação do amônio, fazendo com que as cargas negativas do solo fossem ocupadas preferencialmente pelos prótons produzidos na nitrificação, impedindo assim a adsorção de cátions básicos. Estes, por sua vez, ao serem deslocados para a solução do solo, estão mais propensos à perda por lixiviação (Raij, 1991). Essa perda pode ser mais acentuada quando há aplicação de maiores quantidades de fertilizantes amoniacais, acima das necessidades da cultura (Schwab et al., 1989).

Acompanhando a tendência verificada no tratamento sem adubação nitrogenada, os teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} no solo com aplicação de N-ELS são maiores nas camadas superficiais, decrescendo em profundidade. Essa situação é comumente verificada em solo com plantio direto, em que o calcário é aplicado na superfície do solo, sem incorporação (Caires et al., 2004), tal como foi realizado neste estudo. Por outro lado, com aplicação de N-NA, principalmente nas maiores doses, verificou-se o inverso, ou seja, ocorrem menores teores nas camadas superficiais do solo. Isso indica que, além da lixiviação dos

cátions básicos para camadas inferiores do perfil, as plantas podem ter absorvido e exportado maiores quantidades de Ca^{2+} e Mg^{2+} das camadas superficiais do solo, onde o sistema radicular é mais concentrado. Por outro lado, quando da aplicação de N-ELS na superfície do solo, há constante reposição desses nutrientes a partir da camada superficial, mantendo valores mais elevados.

A saturação por alumínio (m) e a saturação por bases (V), à semelhança dos demais fatores relacionados com a acidez do solo, foram influenciadas somente pela aplicação de N-NA (Tabela 5). Maiores valores de m e menores de V foram observados quando da aplicação de doses mais altas de N-NA. Esses resultados estão de acordo com a maioria daqueles citados na literatura (Campos, 2004; Lange et al., 2006; Matowo et al., 1999) quanto ao uso de fertilizantes amoniacais, pois o efeito acidificante dessa fonte faz com que os cátions ácidos ocupem maior parte das cargas negativas do solo, acarretando a lixiviação dos cátions básicos. Contrariando os resultados aqui obtidos com N-ELS, Queiroz et al. (2004) observaram aumento na soma de bases e diminuição da saturação por bases com aplicação de sucessivas doses de ELS em gramíneas forrageiras.

A saturação por alumínio no perfil acompanha a tendência observada com o Al^{3+} , verificando-se aumento dos valores em maior profundidade nos trata- ▶

Tabela 3. Acidez potencial (H + Al) em diferentes camadas do solo e respectivas equações de regressão e coeficientes de determinação, de acordo com as doses de nitrogênio aplicadas como esterco líquido de suínos (N-ELS) e nitrato de amônio (N-NA), no período de 1996 a 2009

Fonte	Camada de solo (cm)	Dose de N (kg/ha/cultivo)				Regressão	R ²
		0	60	120	180		
Acidez potencial (cmol/dm³)							
N-ELS	Até 2,5	2,58b	3,15b	2,92b	3,59b	ns	-
	2,5 a 5	3,10b	4,00b	3,53ab	5,75ab	ns	-
	5 a 10	4,55ab	4,71b	4,38ab	6,92ab	ns	-
	10 a 20	4,61ab	5,58ab	4,91ab	7,21ab	ns	-
	20 a 30	5,33ab	9,07a	8,02a	6,63ab	ns	-
	40 a 50	8,37a	10,02a	8,44a	9,17a	ns	-
N-NA	Até 2,5	2,58b	5,76a	10,98bc	17,53ab	$\hat{y} = 1,71+0,0835x$	0,90*
	2,5 a 5	3,10b	8,44a	19,19a	22,64a	$\hat{y} = 2,94+0,1156x$	0,88*
	5 a 10	4,50ab	7,21a	13,31ab	22,64a	$\hat{y} = 2,84+0,1009x$	0,87*
	10 a 20	4,61ab	5,93a	7,46bc	20,64ab	$\hat{y} = 2,22+0,0827x$	0,67*
	20 a 30	5,33ab	8,24a	6,08c	15,51b	$\hat{y} = 4,53+0,0473x$	0,54*
	40 a 50	8,37a	10,05a	7,60bc	14,00b	ns	-

Nota: Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, para a mesma fonte de adubo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

ns = modelo de regressão não significativo.

* = significativo a 5 % de probabilidade.

Tabela 4. Teores de cálcio e magnésio trocáveis, em diferentes camadas do solo, e respectivas equações de regressão e coeficientes de determinação, de acordo com as doses de nitrogênio aplicadas, usando esterco líquido de suínos (N-ELS) e nitrato de amônio (N-NA), no período de 1996 a 2009

Fonte	Camada de solo (cm)	Dose de N (kg/ha/cultivo)				Regressão	R ²
		0	60	120	180		
Cálcio trocável (cmol_c/dm³)							
N-ELS	Até 2,5	4,17a	4,10a	4,83a	4,03a	ns	-
	2,5 a 5	3,90ab	3,93a	4,30ab	3,20ab	ns	-
	5 a 10	3,27bc	3,07ab	3,17b	2,30b	ns	-
	10 a 20	2,93c	2,40b	2,60b	2,12bc	ns	-
	20 a 30	1,93d	1,33c	1,60c	1,81bc	ns	-
	40 a 50	1,13d	0,97c	1,13c	1,40c	ns	-
N-NA	Até 2,5	4,17a	2,87a	1,10bc	0,47b	$\hat{y} = 4,08 - 0,0214x$	0,89*
	2,5 a 5	3,90ab	2,20ab	0,77c	0,37ab	$\hat{y} = 3,61 - 0,0201x$	0,88*
	5 a 10	3,27bc	2,00bc	1,03bc	0,30ab	$\hat{y} = 3,13 - 0,0164x$	0,87*
	10 a 20	2,93c	2,20ab	2,06a	0,37b	$\hat{y} = 3,07 - 0,0131x$	0,78*
	20 a 30	1,93d	1,70bc	2,07a	0,60b	ns	-
	40 a 50	1,13d	1,23c	1,63ab	1,47a	ns	-
Magnésio trocável (cmol_c/dm³)							
N-ELS	Até 2,5	3,13a	3,27a	3,60a	3,17a	ns	-
	2,5 a 5	2,87a	3,03a	3,17a	2,27b	ns	-
	5 a 10	2,30b	2,33b	2,26b	1,70bc	ns	-
	10 a 20	2,03bc	1,73c	1,80bc	1,37c	ns	-
	20 a 30	1,60cd	1,10d	1,17c	1,17c	ns	-
	40 a 50	1,10d	0,80d	0,93c	1,03c	ns	-
N-NA	Até 2,5	3,13a	2,23a	1,30a	0,43ab	$\hat{y} = 3,13 - 0,0151x$	0,86*
	2,5 a 5	2,87a	1,50b	0,60b	0,24b	$\hat{y} = 2,62 - 0,0147x$	0,88*
	5 a 10	2,30b	1,47b	0,63b	0,13b	$\hat{y} = 2,23 - 0,0122x$	0,92*
	10 a 20	2,03bc	1,43b	1,21a	0,17b	$\hat{y} = 2,08 - 0,0097x$	0,85*
	20 a 30	1,60cd	1,13bc	1,30a	0,37ab	$\hat{y} = 1,63 - 0,0059x$	0,56*
	40 a 50	1,10d	0,83c	1,03ab	0,78a	ns	-

Nota: Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, para a mesma fonte de adubo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

ns = modelo de regressão não significativo.

* = significativo a 5 % de probabilidade.

mentos sem N-NA e N-ELS ou com aplicação de N-ELS. Com aplicação de N-NA, os valores de m nas diversas camadas do solo acompanham as variações observadas nos teores Ca e Mg trocáveis. Esses valores, com exceção da camada superficial na menor dose, são mais altos e apresentam menor variação no perfil.

Os valores de m aumentaram e os de V diminuíram linearmente em todas as camadas amostradas com o aumento da dose de N-NA aplicada, até 30cm de profundidade. O coeficiente angular das regressões de ambas as variáveis foi maior nas quatro camadas superficiais e menor na camada de 20 a 30cm, indicando maior influência do N-NA sobre os valores m e V nas camadas superficiais. Isso está de acordo com o que normalmente é observado no sistema plantio direto, em que a acidificação do solo ocorre a partir da camada superficial, local de aplicação do fertilizante.

Conclusões

Sucessivas aplicações de esterco líquido de suínos para suprimento de nitrogênio às plantas não influenciam a acidez do solo, enquanto o nitrato de amônio, nas mesmas condições, aumenta a acidez do solo, os teores de alumínio trocável e a acidez potencial, até 30cm de profundidade.

A aplicação superficial de nitrato de amônio no sistema plantio direto proporciona a formação de uma frente acidificante no perfil do solo, o que diminui os valores de saturação com bases e aumenta os valores de saturação com alumínio em profundidade. Esses efeitos são proporcionais às doses aplicadas.

O esterco líquido de suínos, nas doses usadas para suprimento de nitrogênio às plantas, mantém os teores de Ca²⁺ e de Mg²⁺ em níveis adequados no solo, enquanto o nitrato de amônio causa redução da disponibilidade desses nutrientes no solo, sendo essa redução

proporcional às doses aplicadas.

O ambiente para o desenvolvimento das plantas pode ser melhorado com a utilização do esterco líquido de suínos como fonte de nitrogênio em substituição à adubação nitrogenada amoniacal, de caráter acidificante.

Agradecimentos

Ao CNPq e ao Bird/SDR-Prapem Microbacias 2 pelo suporte financeiro na execução do projeto de pesquisa.

Literatura citada

1. ADELI, A.; BOLSTER, C.H.; ROWE, D.E. et al. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. **Soil Science**, v.173, p.223-235, 2008.
2. ASSMANN, T.S.; ASMANN, J.M.; CASOL, L.C. et al. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1515-1523, 2007.
3. CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.125-136, 2004.
4. CAMPOS, A.X. de. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. 119f. (Tese de Doutorado). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2004.
5. CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.729-735, 2003.
6. COMIN, J.; DORTZBACH, D.; SARTORI, R. Adubação prolongada com dejetos suínos e os efeitos em atributos químicos do solo na produtivi-

Tabela 5. Saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) em diferentes camadas do solo, e respectivas equações de regressão e coeficientes de determinação, de acordo com as doses de nitrogênio aplicadas como esterco líquido de suínos (N-ELS) e nitrato de amônio (N-NA), no período de 1996 a 2009

Fonte	Camada de solo (cm)	Dose de N (kg/ha/cultivo)				Regressão	R ²
		0	60	120	180		
Saturação por alumínio (%)							
N-ELS	0 a 2,5	0,0	0,0	0,0	1,12b	ns	-
	2,5 a 5	0,0	0,0	0,0	8,74b	ns	-
	5 a 10	0,0	1,97c	0,0	15,22ab	ns	-
	10 a 20	0,0	4,08c	2,44c	18,39ab	ns	-
	20 a 30	12,79b	38,95b	21,79b	21,50a	ns	-
	40 a 50	44,10a	54,70a	46,09a	27,33a	ns	-
N-NA	Até 2,5	0,0	4,83c	42,24ab	75,22ab	$\hat{y} = -8,89+0,4385x$	0,90*
	2,5 a 5	0,0	28,23ab	65,68a	82,46ab	$\hat{y} = 1,37+0,4747x$	0,92*
	5 a 10	0,0	26,71ab	59,56a	87,84a	$\hat{y} = 0,94+0,490x$	0,98*
	10 a 20	0,0	23,65b	26,92b	86,76a	$\hat{y} = 0,85+0,4393x$	0,72*
	20 a 30	12,79b	36,68ab	25,47b	74,15ab	$\hat{y} = 11,32+0,2881x$	0,53*
	40 a 50	22,17d	16,69c	20,89c	23,68c	ns	-
Saturação por bases (%)							
N-ELS	Até 2,5	75,83a	71,16a	75,13a	66,75a	ns	-
	2,5 a 5	69,75ab	62,02ab	67,56ab	48,69b	ns	-
	5 a 10	55,99abc	52,94b	56,04b	37,48bc	ns	-
	10 a 20	52,25bc	42,97b	47,66b	33,57bc	ns	-
	20 a 30	40,74c	24,22c	27,16c	32,42bc	ns	-
	40 a 50	22,17d	16,69c	20,89c	23,68c	ns	-
N-NA	Até 2,5	75,83a	46,73a	20,17bc	6,28ab	$\hat{y} = 73,56-0,3982x$	0,93*
	2,5 a 5	69,75ab	30,81abc	7,94d	3,25b	$\hat{y} = 61,64-0,3719x$	0,87*
	5 a 10	55,99abc	32,65ab	11,89cd	2,34b	$\hat{y} = 53,43-0,3054x$	0,89*
	10 a 20	52,25bc	38,15ab	30,88ab	2,79b	$\hat{y} = 54,62-0,2607x$	0,87*
	20 a 30	40,74c	25,70bc	36,34a	6,23ab	$\hat{y} = 42,38-0,1605x$	0,48*
	40 a 50	22,17d	17,44c	26,43ab	15,31a	ns	-

Nota: Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, para a mesma fonte de adubo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

ns = modelo de regressão não significativo.

* = significativo a 5% de probabilidade.

- dade em plantio direto sem agrotóxicos. **R. Brasileira de Agroecologia**, v.2, p.1340-1343, 2007.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS/RS-SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
 - EGHBALL, B. Liming effects of beef cattle feedlot manure or compost. **Commun. Soil Science Plant Anal.**, v.30, p.2563-2570, 1999.
 - EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.
 - ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.161-165, 1983.
 - GUZMAN, J.G.; GODSEY, C.B.; PIERYNSKI, G.M. et al. Effects of tillage and nitrogen management on soil chemical and physical properties after 23 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, v.91, p.199-206, 2006.
 - HUE, N.V.; LICUDINE, D.L. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. **J. Environ. Qual.**, v.28, p.623-632, 1999.
 - KING, L.D.; BURNS, J.C.; WESTERMAN, P.R. Long-term swine lagoon effluent applications on coastal bermudagrass: II. Effect on nutrient accumulation in soil. **J. Environ. Qual.**, v.19, p.756-760, 1990.
 - LANGE, A.; CARVALHO, J.L.N.; DAMIN, V. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, v.36, p.460-467, 2006.
 - MATOWO, P.R.; PIERYNSKI, G.M.; WHITNEY, D. et al. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, v.50, p.11-19, 1999.
 - QUEIROZ, F.M.; MATTOS, A.F.; PEREIRA, O.G. et al. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v.34, p.487-492, 2004.
 - RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.
 - SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; NESI, C.N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.123-131, 2007.
 - SCHWAB, A.P.; RANSOM, M.D.; OWENSBY, C.E. Exchange properties of an Agriustoll: effects of long-term ammonium nitrate fertilization. **Soil Science Society American Journal**, v.53, p.1412-1417, 1989.
 - TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5). ■