

INFLUÊNCIAS DOS ESTERCOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO

MANURES INFLUENCES IN THE CHEMICALS CHARACTERISTICS OF A RED LATOSOL¹

Cristiane Ramos VIEIRA^{2,3}; Rosangela Araujo BOTELHO²; Patrícia Paz da COSTA²

RESUMO – Os resíduos orgânicos como os esterco estão sendo cada vez mais utilizados para a fertilização do solo, seja no campo ou durante a produção de mudas. Essa utilização deriva da sua capacidade de melhorar tanto as características químicas quanto às físicas do solo e por consequência, as condições para o crescimento da planta. No entanto, as modificações nas características químicas do solo podem ser favoráveis ou não, dependendo da dose e do resíduo aplicado. Diante disso, desenvolveu-se estudo com o objetivo de avaliar as diferentes doses de esterco bovino, equino e de aves nas modificações das características químicas de um latossolo. Para isso, foram realizados três experimentos utilizando esterco de diferentes origens, em delineamento inteiramente casualizado, com os seguintes tratamentos: 0 t ha⁻¹ de esterco; 10 t ha⁻¹ de esterco; 20 t ha⁻¹ de esterco; 30 t ha⁻¹ de esterco; 40 t ha⁻¹ de esterco. Cada dose (tratamento) foi testada com a adição de esterco bovino, esterco equino e esterco de aves, em sacolas plásticas preenchidas com Latossolo Vermelho distrófico, com seis repetições. Ao final de 90 dias, foram avaliadas as características químicas do solo, verificando-se que, a adição de esterco influenciou positivamente nessas características. O esterco de aves, na dose de 30 t ha⁻¹, foi o que apresentou os maiores efeitos redutores da acidez do solo, em função dos teores de bases e do aumento em V%, que diminuiu os teores de H, Al e m%, aumentando o pH do solo.

Palavras-chave: Propriedades do solo; resíduos orgânicos; química do solo; fertilidade do solo.

ABSTRACT – Organic residue such as manure is being increasingly used for soil fertilization, whether in the field or during seedlings production. This use derives from its ability to improve the chemical and physical characteristics of the soil and, consequently, the conditions for plant growth. However, changes in soil chemical characteristics may or may not be favorable, depending on the dose and residue applied. Therefore, study was developed with the objective of evaluating the different doses of bovine, equine and poultry manure in the modifications of the latosol chemical characteristics. For this, three experiments were carried out using manure from different origins, in a completely randomized design, with the following treatments: 0 t ha⁻¹ of manure; 10 t ha⁻¹ manure; 20 t ha⁻¹ manure; 30 t ha⁻¹ manure; 40 t ha⁻¹ of manure. Each dose (treatment) was tested with the addition of bovine manure, equine manure and poultry manure, in plastic bags filled with dystrophic Red Latosol, with six replicates per treatment. At the end of 90 days, the soil chemical characteristics were evaluated, verifying that the addition of manure had a positive influence on this characteristics. The poultry manure, at 30 t ha⁻¹, was the one that presented the greatest reduction effects of the soil acidity, as a function of the base contents and the increase in V%, which decreased the levels of H, Al and m%, increasing the pH of the soil.

Keywords: Soil properties; organic residue; soil chemistry; soil fertility.

1 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros são, na sua maioria, naturalmente ácidos, tendo baixa disponibilidade dos nutrientes que são necessários para o

crescimento das plantas. Isso dificulta a utilização desse tipo de solo na produção de mudas em viveiros florestais, sem a adição de um material que tenha capacidade nutritiva maior, ou mesmo, dos fertilizantes comerciais.

¹ Recebido para análise em 16.12.2021. Aceito para publicação em 18.05.2022. Publicado em 02.09.2022.

² Universidade de Cuiabá, Av. Beira Rio, 3100, Bairro Jardim Europa, 78065-443, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

³ Autora para correspondência: Cristiane Ramos Vieira - cris00986@hotmail.com

No entanto, nos últimos anos, tem se atentado mais para a aplicação de fertilizantes, tanto por causa de seu custo, quanto pela sua capacidade de lixiviação. Sendo estes substituídos, em partes, por materiais orgânicos. Segundo Silva et al. (2010) o aumento do custo dos fertilizantes minerais e a crescente poluição ambiental fazem do uso de resíduos orgânicos na agricultura uma opção atrativa do ponto de vista econômico, em razão da ciclagem de carbono e nutrientes.

Dentre os materiais que podem ser adicionados para aumentar a fertilidade do solo, estão os resíduos orgânicos, como os esterco. No entanto, de acordo com Tedesco et al. (2008) a composição química dos esterco é variável e influenciada por fatores como a espécie animal, a raça, a idade, a alimentação, o material utilizado como cama, o índice de aproveitamento de nutrientes da ração pelos animais, os produtos veterinários fornecidos aos animais, entre outros. Por isso, é importante estudar a dose em que serão aplicados, porque podem causar impactos ambientais negativos, como aumento no teor de nitrato em águas superficiais, eutrofização dos rios e lagos, elevação do pH do solo, e acúmulo de metais pesados (Bissani et al., 2008). Nesse contexto, Lourenzi et al. (2016) constataram que aplicações sucessivas de resíduos orgânicos podem disponibilizar nutrientes acima da necessidade de uma cultura.

Os resíduos orgânicos são fontes de matéria orgânica para o solo, proporcionando maior qualidade estrutural (Schimiguel et al., 2014), porque a estabilidade dos agregados depende do tipo de uso e manejo do solo, sendo afetada, principalmente, pela textura, mineralogia, quantidade e tipo de matéria orgânica (Almeida et al., 2014). Como estes resíduos orgânicos também disponibilizam nutrientes, uma vez que são utilizados para compor o substrato, podem contribuir para a redução nos custos com adubação para a formação de mudas (Araujo et al., 2017). Por conta dessas vantagens, sua utilização proporciona maiores produções de matéria seca pelas culturas (Lourenzi et al., 2014).

Algumas pesquisas têm sido realizadas nessa área para comprovar os efeitos dos resíduos como condicionadores do solo, seja nas características químicas (Martins et al., 2015; Soares Filho et al.,

2015), físicas (Bonini et al., 2015) ou biológicas (Andrade et al., 2016).

Oliveira et al. (2014) verificaram que a aplicação de esterco bovino, dentre outros materiais, pode ser realizada para a formação de compostos capazes de aumentar os teores de Ca no solo. A adição de lodo de esgoto aumenta os teores de P e de K, ao ser utilizado juntamente com o biochar (Vendruscolo et al., 2016). Ao utilizar esterco, Trazzi et al. (2012) verificaram aumento nos valores para as características CTC, SB e V do solo; enquanto Rodhen et al. (2017) observaram que a aplicação de dejetos líquidos de suíno (DLS) alterou as características químicas do solo, tais como MOS, CTC, pH, V% e a disponibilidade dos nutrientes P, K, Cu, Zn.

Por isso, há que se estudar a melhor composição de substratos em detrimento da espécie que se pretende propagar, embora seja também importante entender como estes resíduos contribuem para modificar as características químicas do solo e, dessa forma, melhorar a sua fertilidade.

Diante disso, desenvolveu-se experimento para avaliar as modificações químicas proporcionadas pelas diferentes doses de esterco de aves, bovino e equino em um latossolo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na casa de vegetação da Faculdade de Agronomia da Universidade de Cuiabá, situada no campus Beira Rio I, em Cuiabá – MT, nas coordenadas 15°37'28"S e 56°05'11"O. O clima predominante da região é o tropical de savana, segundo classificação de Köppen.

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico com textura franco arenosa, coletado em área de Cerrado nativo do Instituto Federal de Mato Grosso, campus de São Vicente da Serra. Após coleta, uma amostra do solo foi retirada, seca ao ar, peneirada em malha de 2 mm e submetida à caracterização química e física, seguindo métodos descritos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (1997) e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análises química e física do solo.

Table 1. Soil chemical and physical analysis.

pH	K	P	H+Al	Al	Ca	Mg	SB
CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				
4,34	105,93	6,9	5,96	0,70	6,8	5,4	12,45
T	t	V	m	MO	Areia	Silte	Argila
cmol _c dm ⁻³		%		g kg ⁻¹			
18,41	13,15	67,6	5,3	34,61	538	54,30	407,70

pH em CaCl₂ – relação 1:2,5; H+Al – em acetato de cálcio; Al, Ca e Mg – em KCl 1N; P e K – em Mehlich; SB – soma de bases; T – capacidade de troca de cátions a pH 7,0; t – CTC efetiva; V% - saturação por bases, em %; m% - saturação por Al, em %; MO – Matéria orgânica a partir da queima em mufla; Areia, silte e argila – método do densímetro.

pH in CaCl₂ – ratio 1:2,5; H+Al – in calcium acetate; Al, Ca and Mg – in KCl 1N; P and K – in Mehlich; SB – sum of bases; T – cation exchange capacity at pH 7.0; t – effective CTC; V% - base saturation, in %; m% - Al saturation, in %; MO – organic matter from muffle firing; Sand, silt and clay – densimeter method.

O esterco de aves foi adquirido de forma comercial e já estava curtido. De acordo com o fabricante, esse produto possui as seguintes garantias: nitrogênio total – 1%; pH – 5,5; CTC – 20 cmol_c dm⁻³; carbono orgânico total – 40%; sendo considerado um fertilizante orgânico simples, e classe “A”. Os esterco bovino e equino foram coletados em local de criação desses animais e depois mantidos para curtimento por 90 dias. Após o curtimento, foram utilizados para a composição do experimento.

Os esterco foram misturados ao solo, considerando as doses testadas no experimento e esse material foi deixado em repouso por mais 15 dias. Em seguida, iniciou-se o período de acompanhamento dos efeitos dos esterco na química do solo.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e seis repetições para cada tipo de esterco, bovino, equino e de aves. Sendo os tratamentos determinados pelas doses: T0 – sem esterco (100% solo); T1 – 10 t ha⁻¹; T2 – 20 t ha⁻¹; T3 – 30 t ha⁻¹; T4 – 40 t ha⁻¹. Essas doses de esterco foram adicionadas às sacolas plásticas de 30x40 cm com capacidade para um quilo, previamente semipreenchidas com solo. Durante o experimento a irrigação foi mantida, via aspersão, por duas vezes ao dia.

Transcorridos 90 dias, amostras dos materiais contidos em cada tratamento foram coletadas para análises químicas. Essas amostras foram secas,

destorroadas e peneiradas para posterior análise segundo metodologias da Embrapa (1997).

As características químicas avaliadas foram: pH, Al, H+Al, Ca, Mg, K, P, SB, TpH7,0, t efetiva, V e m.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e em seguida, à análise de regressão, com auxílio do programa SISVAR, versão 5.6 (Ferreira, 2011), após constatação da normalidade dos dados.

3 RESULTADOS

3.1 Acidez do solo após adição de diferentes doses de esterco

O aumento nas doses de esterco bovino ou equino promoveu aumento no pH do solo (Figura 1), porém com médias semelhantes para esses dois tipos de esterco.

O ajuste foi de equação quadrática para a adição de esterco bovino, sendo o maior pH a 10 t ha⁻¹ (pH = 4,5) e linear para a aplicação de esterco equino, com a maior média para pH em 30 t ha⁻¹ (pH = 4,6) e a menor média para a dose de 0 t ha⁻¹ (pH = 4,3).

As maiores médias para pH foram observadas após as aplicações das doses de esterco de aves, porém, semelhantes entre as doses de 30 e de 40 t ha⁻¹ (pH = 5,4 e 5,5, respectivamente).

Contrariamente ao que foi observado ao analisar o pH do solo, ocorreu redução nos teores de H+Al (Figura 1), o que possibilitou o ajuste de equação linear decrescente, após as adições dos esterco equino e de aves. Contrário ao que foi observado após a aplicação de esterco bovino, situação para qual o ajuste foi de equação quadrática com o aumento até a dose de 30 t ha⁻¹ e, posterior redução na dose de 40 t ha⁻¹.

Ocorreu redução dos teores de Al (Figura 1) com o aumento das doses de esterco de aves. Nesse caso, a menor média (0,12 cmol_c dm⁻³) foi na dose de 40 t ha⁻¹, com o ajuste de regressão linear decrescente.

Nos casos em que se aplicou esterco bovino ou equino, os teores de Al foram semelhantes, permanecendo entre 0,7 cmol_c dm⁻³ nas doses de 0 e de 40 t ha⁻¹ e 0,5 cmol_c dm⁻³ na dose de 30 t ha⁻¹ para o esterco bovino; 0,7 cmol_c dm⁻³ nas doses de 0, 10 e 20 t ha⁻¹ e 0,5 cmol_c dm⁻³ na dose de 30 t ha⁻¹ de esterco equino.

3.2 Cálcio+Magnésio e cálcio no solo após adição de diferentes doses de esterco

Ao adicionar o esterco de aves, ocorreu aumento nos teores de Ca+Mg (Figura 2), até as doses de 30 t ha⁻¹ e de 40 t ha⁻¹, provocando o ajuste de equação

linear, assim como foi observado para os teores e Ca.

Os maiores teores de Ca (Figura 2) foram verificados após a aplicação de esterco de aves, com médias entre 8,5 e 10,7 cmol_c dm⁻³.

Ao final do experimento, o solo acrescido de esterco bovino ou equino apresentou teores semelhantes de Ca+Mg, ajustando-se equação linear com esterco bovino e, equação quadrática com esterco equino; com redução nas médias, entre as doses de 10 e 20 t ha⁻¹ e posterior aumento entre as doses de 30 e de 40 t ha⁻¹. Com relação aos teores de Ca, os resultados apresentados após aplicações desses esterco foram diferentes.

No caso do esterco bovino, ocorreu o ajuste de equação quadrática para os teores de Ca, pois as médias aumentaram ao aplicar o esterco (em relação à dose 0 t ha⁻¹), até a dose de 30 t ha⁻¹, sendo superior na dose de 10 t ha⁻¹ (9,2 cmol_c dm⁻³).

Para o esterco equino, houve redução nos teores de Ca, em relação aos outros esterco, com médias entre 3,4 cmol_c dm⁻³ na dose de 30 t ha⁻¹ e 4,9 cmol_c dm⁻³ na dose de 10 t ha⁻¹.

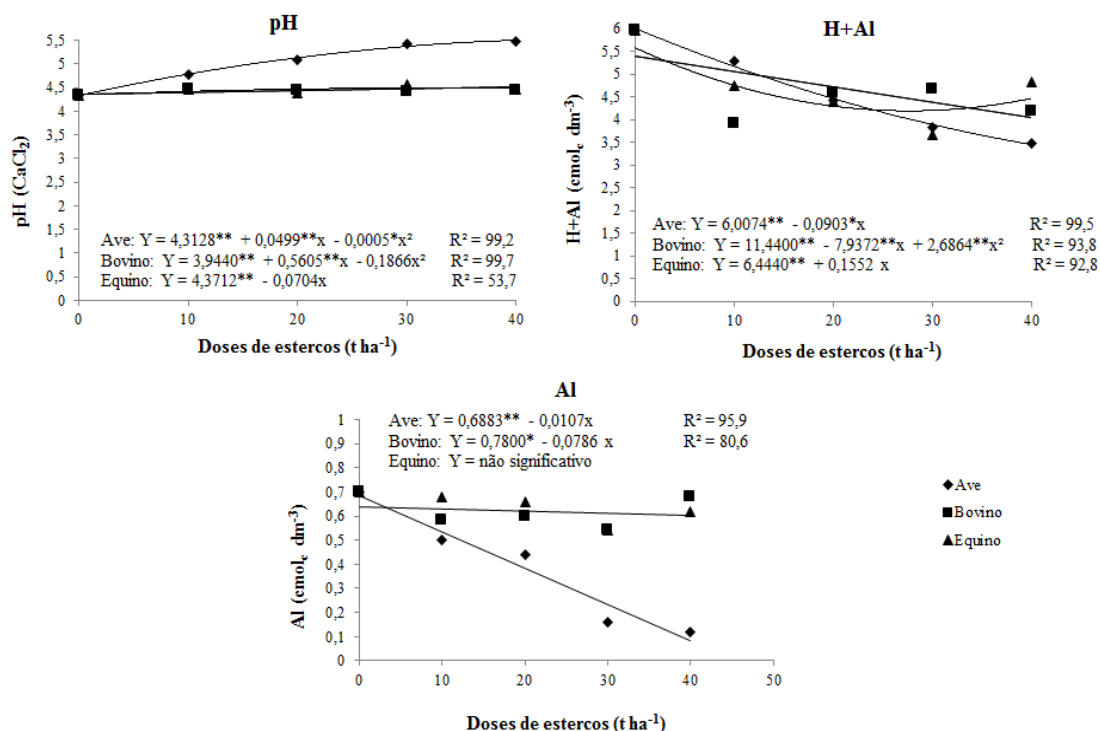


Figura 1. pH (CaCl₂), H+Al (cmol_c dm⁻³) e Al (cmol_c dm⁻³), em solo, após aplicação de diferentes doses de esterco.

Figure 1. pH (CaCl₂), H+Al (cmol_c dm⁻³) and Al (cmol_c dm⁻³), in soil, after application of different manure doses.

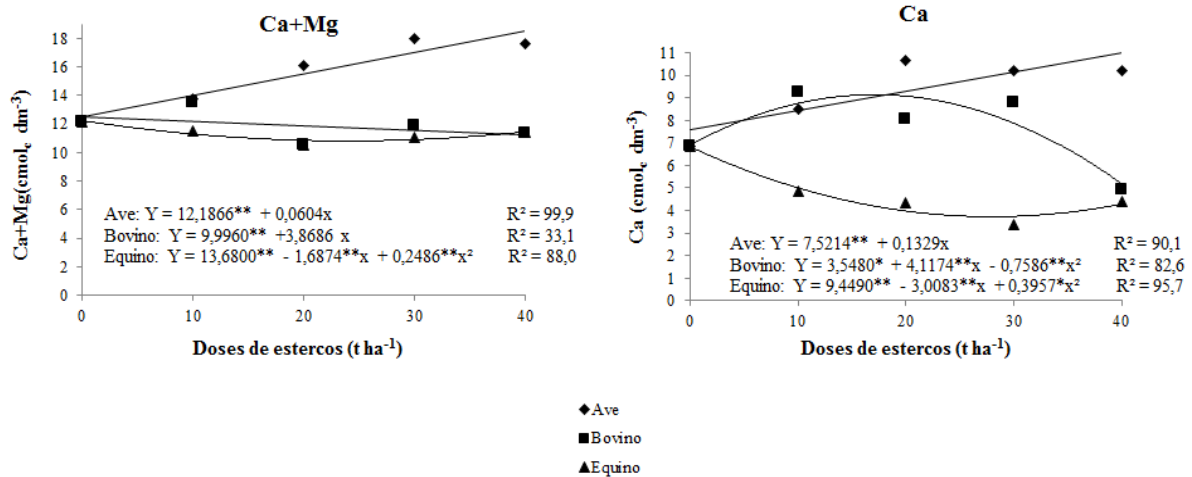


Figura 2. Teores de Ca+Mg (cmol_c dm⁻³) e de Ca (cmol_c dm⁻³) em solo, após aplicação de diferentes doses de esterco.

Figure 2. Ca+Mg (cmol_c dm⁻³) and Ca (cmol_c dm⁻³) contents in soil, after application of different manure doses.

3.3 P e K no solo após adições de diferentes doses de esterco

Ocorreu aumento quadrático no teor de P disponível (Figura 3), até a dose de 30 t ha⁻¹ (38,9 mg dm⁻³), após aplicação do esterco de aves. Essa adição de esterco foi a que mais favoreceu os teores de P, que ficou entre 18,2 mg dm⁻³ na dose de 10 t ha⁻¹ e 38,9 mg dm⁻³ em 30 t ha⁻¹. Enquanto, para o esterco bovino não se observou significância, porém, os teores de P estiveram entre 4,8 mg dm⁻³ na dose de 40 t ha⁻¹ e 6,2 mg dm⁻³ na dose de 30 t ha⁻¹.

Para o solo com adição de esterco equino observou-se aumento na disponibilização de P, com ajuste de equação linear, e teores entre 3 mg dm⁻³ na dose de 10 t ha⁻¹ e 7,6 mg dm⁻³ na dose de 40 t ha⁻¹.

Para os teores de K (Figura 3), os efeitos do esterco de aves foram semelhantes entre as doses aplicadas, com redução, se comparado ao tratamento sem esterco. No caso do esterco equino, os teores estiveram entre 57,8 mg dm⁻³ na dose de 10 t ha⁻¹ e 48,2 mg dm⁻³ nas demais doses; enquanto, após as aplicações de esterco bovino, o ajuste foi de equação quadrática, porque os teores de K permaneceram entre 42,8 mg dm⁻³ na dose de 40 t ha⁻¹ e 96,3 mg dm⁻³ na dose de 20 t ha⁻¹.

3.4 Soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC) após adições de diferentes doses de esterco

As médias para SB, CTC total e CTC efetiva (Figura 4) foram crescentes, até a dose de 30 t ha⁻¹ (18,2 cmol_c dm⁻³, 22,1 cmol_c dm⁻³ e 18,4 cmol_c dm⁻³,

respectivamente), após a aplicação de esterco de aves. Ajustando-se equações quadráticas para as três características químicas.

Para o esterco bovino não se observou significância para a SB, porém, para a CTC total e para a CTC efetiva verificou-se redução entre as doses de 10 e 20 t ha⁻¹.

Após as aplicações do esterco equino, as médias para a SB variaram entre 10,7 cmol_c dm⁻³ na dose de 20 t ha⁻¹ e 11,7 cmol_c dm⁻³ na dose de 10 t ha⁻¹. Ajustando-se equação quadrática, com redução de média da dose de 10 t ha⁻¹ para 20 t ha⁻¹ e aumento de 30 para 40 t ha⁻¹.

3.5 Saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) após adições de diferentes doses de esterco

A V% apresentou aumento independentemente do tipo de esterco aplicado (Figura 5). No caso do esterco de aves, esse aumento aconteceu de forma crescente da dose de 10 t ha⁻¹ (V = 72,6%) para a dose de 40 t ha⁻¹ (V = 83,5%), ajustando-se equação quadrática.

Com a aplicação do esterco bovino, V% aumentou de 67,6% no tratamento controle, para 77,5% na dose de 10 t ha⁻¹, onde se observou a maior média. Enquanto, a maior contribuição do esterco equino foi na dose de 30 t ha⁻¹, quando a média para V% aumentou para 75,6%.

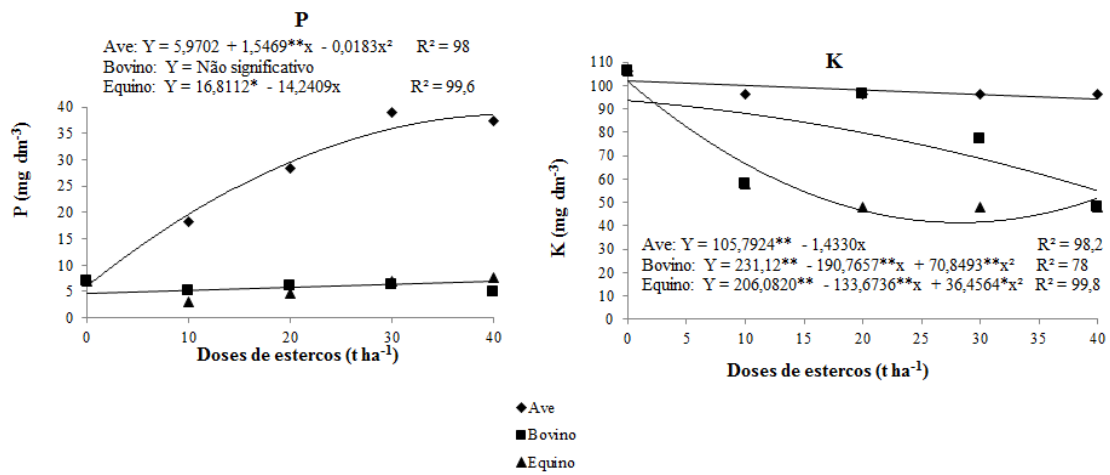


Figura 3. Teores de P e K (mg dm⁻³), em solo, após aplicação de diferentes doses de esterços.

Figure 3. P and K (mg dm⁻³) contents, in soil, after application of different manure doses.

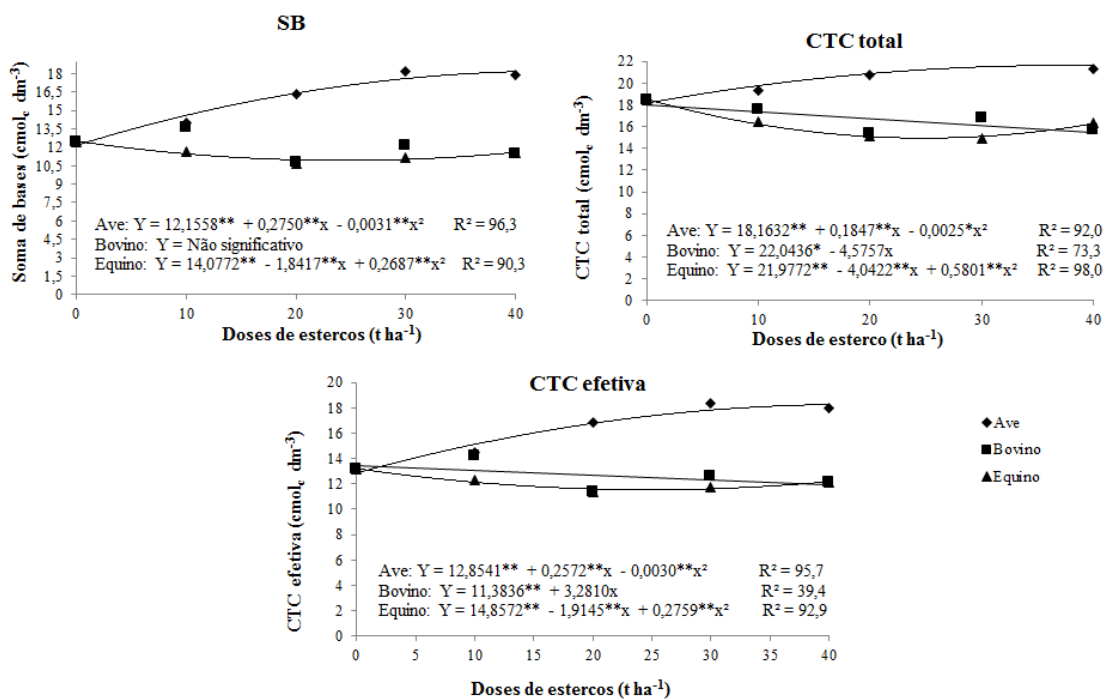


Figura 4. Soma de bases (SB), CTC total e CTC efetiva (cmol. dm⁻³), em solo, após aplicação de diferentes doses de esterços.

Figure 4. Sum of bases (SB), total CTC and effective CTC (cmol. dm⁻³), in soil, after application of different manure doses.

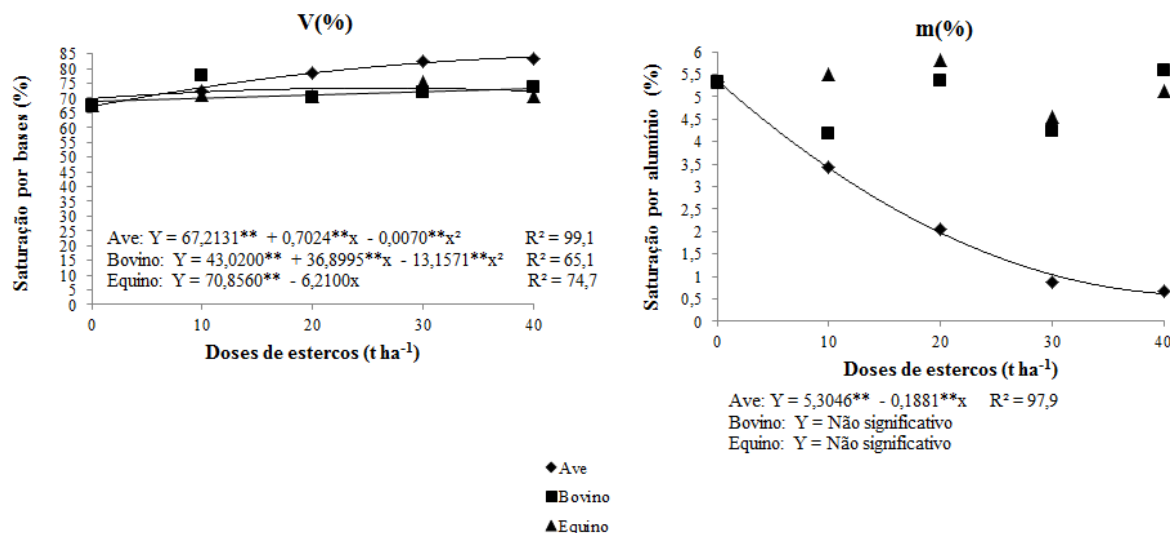


Figura 5. Saturação por bases (V, em %) e saturação por alumínio (m, em %), em solo, após aplicação de diferentes doses de esterco.

Figure 5. Base saturation (V, in %) and aluminum saturation (m, in %), in soil, after application of different manure doses.

4 DISCUSSÃO

4.1 Acidez do solo após adição de diferentes doses de esterco

A adição de esterco bovino ou equino favoreceu o aumento no valor do pH do solo (Figura 1), sendo que, nestes dois casos, as médias obtidas foram semelhantes, e não ultrapassaram o valor de 4,6, independentemente da dose aplicada. Permanecendo com acidez ativa considerada alta ou muito alta (Sousa e Lobato, 2004), o que demonstra que ambos possuem capacidades semelhantes na redução da acidez do solo, porém, sem acentuados incrementos no seu pH.

Enquanto que, ao aplicar o esterco de aves, a maior média foi observada na dose de 40 t ha⁻¹, onde atingiu pH = 5,5. Esse aumento foi de 19,2% e de 18,4%, quando comparando os resultados na dose de 40 t ha⁻¹, em relação ao que se observou para os esterco bovino e equino, respectivamente. Apresentando médias com pH entre acidez muito alta (controle) e acidez média (30 e 40 t ha⁻¹) (Sousa e Lobato, 2004).

Esse efeito na correção de acidez do solo ocorre devido às elevadas concentrações de CO₃ e HCO₃ presentes no resíduo (Nascimento et al., 2014), que, nesse caso, é o esterco. De acordo com Chantigny et al. (2004), as propriedades alcalinas e a dissociação de carbonatos presentes em resíduos podem contribuir para a elevação dos valores de pH em solos que os recebem. Isso é decorrente não apenas do tamponamento por carbonatos e bicarbonatos, mas também a outros compostos, como os ácidos orgânicos com grupos carboxil e hidroxil fenólicos,

os quais têm papel no tamponamento da acidez do solo e na variação do pH de solos ácidos manejados com esterco (Whalen et al., 2000). Essas características favorecem a adsorção de íons H⁺ e, conseqüentemente, podem proporcionar o aumento no pH do solo (Lourenzi et al., 2016).

Esse aumento no valor do pH do solo, após a adição de resíduos orgânicos, também foi observado por Costa et al. (2011) ao testar diferentes materiais orgânicos; por Pinto et al. (2012), ao estudar a aplicação de cama de peru ao solo; e por Lourenzi et al. (2016), após a adição de dejetos de suíno ao solo.

Ao analisar a característica química H+Al, verifica-se que ocorreu redução nos teores destes elementos (Figura 1) que, combinados, indicam o que se denomina de acidez potencial do solo. Com o aumento das doses de esterco de aves, as médias foram de 6,0 cmol_c dm⁻³ na dose de 0 t ha⁻¹ a 3,5 cmol_c dm⁻³ na dose de 40 t ha⁻¹. Esse resultado é esperado, em função do que foi observado para o pH, e demonstra que ocorreu redução dos teores de H+Al solúveis, o que possibilitou a elevação do pH. Isso ocorre porque o esterco oriundo de animais alimentados com rações e concentrados é rico em carboidratos que provavelmente estão contribuindo com hidroxilas (OH⁻) para a solução do solo (Whalen et al., 2000), que acarreta redução da acidez ativa, representada pelo pH.

De acordo com Costa et al. (2011) a medida que o pH se eleva, a acidez potencial tende a diminuir. Isso também foi observado por Steiner et al. (2011); Costa e Valeri (2012); Oliveira et al. (2014) e Santos et al. (2014).

Malta et al. (2019) também verificaram menores médias para H+Al, após a aplicação do esterco de aves, porém, estatisticamente semelhante ao observado nos casos dos esterco caprino e bovino. Isso ocorre porque, de acordo com Santos et al. (2014), a medida que o pH diminui, a acidez potencial tende a aumentar, uma vez que o pH diz respeito aos prótons livres do solo (H^+) e a acidez potencial é a soma de H+Al.

Assim como se observou redução na acidez potencial, também foi observada redução dos teores de Al (Figura 1) com o aumento das doses de esterco de aves. Estes resultados foram compatíveis com a redução do H+Al e aumento do pH indicando que essas características estão diretamente relacionadas. Com o aumento do pH, ocorreu aumento dos teores de bases e redução de H e Al solúveis, isso elevou os valores do pH. Enquanto que, nos casos dos esterco bovino e equino, essas reduções não foram acentuadas, não se observando, por exemplo, diferença entre as médias para os teores de Al em solo acrescido de esterco equino.

Lima et al. (2009), estudando a aplicação de cinzas de madeira e esterco bovino no solo, verificaram que estes geraram íons OH^- ao se hidratarem e se dissolverem na solução do solo, os quais tanto elevaram o pH como reagiram com Al, precipitando-o na forma $Al(OH)_3$ e reduzindo seu teor no solo. Os cátions adicionados e a OH^- deslocam o Al^{3+} da superfície da argila, levando-o para a solução do solo, onde é quelatizado pelos ácidos orgânicos, ficando indisponível para as plantas. O que parece ter sido mais eficiente após a aplicação do esterco de aves.

4.2 Cálcio+Magnésio e cálcio no solo após adição de diferentes doses de esterco

Ao adicionar o esterco de aves, ocorreu aumento nos teores de Ca+Mg e de Ca (Figura 2), até as doses de 30 t ha^{-1} e de 40 t ha^{-1} , o que influenciou nos valores de pH do solo; sendo que as maiores médias, comparando com os demais esterco aplicados, foram observadas após as adições do esterco de aves. Esse aumento nos teores de bases como Ca e Mg, após a aplicação do esterco de aves, provocou o aumento do pH, indicando que esse material orgânico é capaz de reduzir os teores de H e de Al solúveis e, que, ele é mais rico em Ca do que em Mg (5,3 $cmol_c dm^{-3}$ de Mg em 10 t ha^{-1} ; 5,5 $cmol_c dm^{-3}$ em 20 t ha^{-1} ; 7,8 $cmol_c dm^{-3}$ em 30 t ha^{-1} e 7,4 $cmol_c dm^{-3}$ em 40 t ha^{-1}). Esses teores de Ca e de Mg são considerados altos, segundo Sousa e Lobato (2004).

O solo acrescido de esterco bovino ou esterco equino apresentou médias semelhantes para Ca+Mg. Porém, ao analisar os teores de Ca, os

resultados foram diferentes. No caso do esterco bovino, as médias aumentaram ao aplicar o esterco (em relação à dose 0 t ha^{-1}), até a dose de 30 t ha^{-1} , sendo superior na dose de 10 t ha^{-1} (9,2 $cmol_c dm^{-3}$). Com teores de Ca variando de adequado a alto e de Mg no nível alto (Sousa e Lobato, 2004). Para o esterco equino, houve redução nos teores de Ca, em relação aos outros esterco, com médias entre 3,4 $cmol_c dm^{-3}$ na dose de 30 t ha^{-1} e 4,9 $cmol_c dm^{-3}$ na dose de 10 t ha^{-1} ; o que implica em mencionar que esta pode ser uma fonte mais rica em Mg do que em Ca, porém, com teores de Ca considerados adequados e teores de Mg considerados altos (Sousa e Lobato, 2004).

O aumento nos teores desses elementos, de acordo com Costa et al. (2011) e Steiner et al. (2011), deve ser atribuído à presença de Ca e de Mg nas fontes orgânicas.

Brito et al. (2005) verificaram aumentos significativos nos teores de Ca e Mg aos 6 e 18 meses, após aplicar cama de frango ao solo, indicando que o resíduo pode ser rico nesses elementos. Barcellos et al. (2015) também observaram acréscimo nos teores de Ca e Mg proporcionado em decorrência da aplicação consecutiva de esterco, nesse caso, esterco líquido de bovino de leite. Isso evidencia o potencial da adubação orgânica com dejetos em elevar os teores de vários nutrientes simultaneamente.

4.3 P e K no solo após adições de diferentes doses de esterco

A adição de esterco de aves foi o que mais favoreceu o aumento nos teores disponíveis de P, que ficou entre 18,2 $mg dm^{-3}$ na dose de 10 t ha^{-1} e 38,9 $mg dm^{-3}$ na dose de 30 t ha^{-1} e, teores em geral, entre os níveis médio e alto (Sousa e Lobato, 2004); enquanto que, para o esterco bovino, não se observou significância, porém, os teores de P estiveram entre 4,8 $mg dm^{-3}$ na dose de 40 t ha^{-1} e 6,2 $mg dm^{-3}$ na dose de 30 t ha^{-1} , variando entre baixo e médio (Sousa e Lobato, 2004). Esses dados indicam que o esterco bovino pode não ser uma fonte adequada para a disponibilização de P ao solo, caso esse seja utilizado para cultivos agrícolas.

Para o solo com adição de esterco equino observou-se aumento na disponibilização de P; porém, com teores entre os níveis baixo e médio, de acordo com classificação de Sousa e Lobato (2004).

O aumento nos teores disponíveis de P demonstra que o esterco de aves favoreceu incrementos em maiores níveis, na fração lábil do P (Pinto et al., 2012). Isso ocorre porque o conteúdo total de P aumenta quando o manejo favorece o incremento de C ou a utilização de fertilizantes

(Andrade et al., 2003). Sendo que, de acordo com Malta et al. (2019), as adubações orgânicas normalmente resultam em elevação do nível de C no solo.

Resultado semelhante foi observado por Malta et al. (2019), que verificaram que o esterco de aves isolado ou incrementado com pó de rocha proporcionou maior aumento no teor de P disponível, sendo superior ao esterco bovino e o esterco caprino. Brito et al. (2005) também verificaram o maior incremento nos teores de P disponível após aplicação de esterco de poedeira e atribuiu essa característica ao fato de grande parte do P adicionado na ração não ser hidrolisada pelo sistema digestivo das aves, retornando para o esterco.

Para os teores de K (Figura 3), os efeitos do esterco de aves foram semelhantes entre as doses aplicadas, com redução, se comparado ao tratamento sem adição de esterco; o que também foi observado após as aplicações dos esterco bovino e equino. Porém, dentre os tipos de esterco utilizados, os maiores teores de K disponível foram observados após as aplicações do esterco de aves, com médias dentro do nível alto (Sousa e Lobato, 2004).

No caso do esterco equino, os teores estiveram entre $57,8 \text{ mg dm}^{-3}$ na dose de 10 t ha^{-1} e $48,2 \text{ mg dm}^{-3}$ nas demais doses, variando, portanto, de alto a médio (Sousa e Lobato, 2004). Enquanto, após as aplicações de esterco bovino, permaneceram entre $42,8 \text{ mg dm}^{-3}$ na dose de 40 t ha^{-1} e $96,3 \text{ mg dm}^{-3}$ na dose de 20 t ha^{-1} , teores de médio a alto (Sousa e Lobato, 2004). Vale ressaltar que, apesar da redução em relação ao tratamento controle, esses teores de K após as aplicações de esterco podem ser adequados para culturas agrícolas e/ou florestais.

4.4 Soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC) após adições de diferentes doses de esterco

As médias para SB, CTC total e CTC efetiva (Figura 4) foram crescentes, até a dose de 30 t ha^{-1} , após a aplicação de esterco de aves. O que esteve diretamente relacionado com os teores de K, Ca e Mg, que são utilizados para o cálculo de SB e, em seguida, para os resultados da CTC total e da CTC efetiva, já que a SB é utilizada para os cálculos dessas características. Resultado semelhante foi verificado por Lourenzi et al. (2016). Esses resultados contribuíram para o aumento do pH após as aplicações de esterco de aves, principalmente, na dose de 30 t ha^{-1} .

Para o esterco bovino não se observou significância para a SB, porém, para a CTC total e

para a CTC efetiva verificou-se redução entre as doses de 10 e 20 t ha^{-1} , em função de outras características químicas que influenciaram para esses resultados, como Ca, Mg e K. No entanto, após as aplicações do esterco equino, as médias para a SB variaram entre $10,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na dose de 20 t ha^{-1} e $11,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na dose de 10 t ha^{-1} . Esses resultados apresentaram mesmo comportamento dos observados para CTC total e CTC efetiva.

Nesse caso, a CTC total foi considerada alta para todos os tipos de esterco estudados e doses aplicadas (Sousa e Lobato, 2004).

Alguns autores associam esse aumento na CTC do solo em decorrência da adição de matéria orgânica, com as aplicações de esterco, como Oliveira et al. (2014), que relatam que o aumento da CTC pode estar relacionado com a menor perda por mineralização da matéria orgânica, já que o experimento foi realizado em condições controladas. Isso também foi mencionado por Nascimento et al. (2014); Santos et al. (2014) e Lourenzi et al. (2016).

Em estudo, Costa e Valeri (2012) observaram que a adubação com o esterco bovino elevou o valor da CTC de $4,77$ para $5,94 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e isso foi associado ao aumento do teor de matéria orgânica de $16,54$ para $21,18 \text{ g dm}^{-3}$.

4.5 Saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) após adições de diferentes doses de esterco

A V% apresentou aumento independentemente do tipo de esterco aplicado (Figura 5). Sendo que, no caso do esterco de aves, esse aumento aconteceu de forma crescente da dose de 10 t ha^{-1} ($V = 72,6\%$) para a dose de 40 t ha^{-1} ($V = 83,5\%$). Isso possibilitou o aumento do pH do solo, comprovando que o esterco de aves pode promover efeitos redutores da acidez ativa e da acidez potencial do solo. Além de ter contribuído para a redução de m% (Figura 5).

De acordo com Pinto et al. (2012) a relação inversa entre pH e m% era esperada, tendo-se em vista que este efeito é causado em pH a partir de $5,5$, no qual ocorrem reações de hidrólise, aumentando as formas de Al com carga nula e promovendo a precipitação de Al^{3+} . Isso é interessante para áreas agrícolas porque a alta m% pode ser prejudicial para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Com a aplicação do esterco bovino, V% aumentou de $67,6\%$ no tratamento controle, para $77,5\%$ na dose de 10 t ha^{-1} , o que permitiu o aumento na média para o pH e a redução na média para m% ($4,2\%$), para esse tipo de esterco; enquanto

que a maior contribuição do esterco equino foi na dose de 30 t ha⁻¹, quando a média para V% aumentou para 75,6%. Porém, dentre os esterco e doses estudados, o esterco equino foi o que possibilitou o menor aumento em V%. O que refletiu nas médias para m%, que foi de 4,6% na dose de 30 t ha⁻¹. Ressaltando-se que, dependendo da cultura, esses valores podem ser considerados adequados.

Nesse caso, as médias para V% permaneceram entre os níveis alto e muito alto, enquanto m% foi considerada baixa, para todos os tipos de esterco e doses estudados (Sousa e Lobato, 2004).

De acordo com Rhoden et al. (2017) solos ácidos tendem a apresentar V% baixa devido à fixação de nutrientes a formas não solúveis e ao aumento no teor de Al³⁺ trocável no solo. Aplicações de resíduos alteram as características químicas do solo, tais como MOS, CTC, pH, V% e a disponibilidade dos nutrientes P, K, Cu, Zn.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de esterco, seja ele de aves, bovino ou equino, altera as características químicas naturais do solo, sendo essa alteração maior ou menor, dependendo da dose utilizada.

O esterco de aves foi o que apresentou os maiores efeitos redutores da acidez do solo, em função dos teores de bases e do aumento na V%, que diminuiu os teores de H, Al e m%, aumentando o pH do solo.

A dose recomendada de esterco de aves foi a de 30 t ha⁻¹, que apresentou semelhança com a de 40 t ha⁻¹, porém, é mais econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R.F. et al. Correlação do tamanho e distribuição dos agregados em Latossolos Amarelo da região do triângulo mineiro em diferentes ambientes. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1325-1334, 2014.
- ANDRADE, F.V. et al. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.
- ANDRADE, L.C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F.A.O. Atividade microbiana em solos sob doses de lodo de estação de tratamento de efluentes de um aterro industrial. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 267-272, 2016.
- ARAÚJO, E.F. et al. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.
- BARCELLOS, M. et al. Atributos químicos de latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovino e fertilizantes minerais. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 3, p. 263-273, 2015.
- BISSANI, C.A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre, RS: Metrópole, 2008. 344 p.
- BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 1, p. 34-42, 2015.
- BRITO, O.R.; VENDRAME, P.R.S.; BRITO, R.M. Alterações das propriedades químicas de um latossolo vermelho distroférico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 1, p. 33-40, 2005.
- CHANTIGNY, M.H. et al. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. **Soil Science Society of American Journal**, v. 68, n. 1, p. 306-312, 2004.
- COSTA, M.S.S.M. et al. Atributos químicos do solo sob plantio direto afetado por sistemas de cultura e fontes de adubação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 579-587, 2011.
- COSTA, F.G.; VALERI, S.V. Efeito do esterco bovino no teor e acúmulo de macronutrientes em folhas de *Corymbia citriodora*. **Nucleus**, v. 9, n. 1, p. 101-114, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011.

VIEIRA, C.R.; BOTELHO, R.A.; COSTA, P.P. Influências dos esterco nas características de um Latossolo Vermelho.

LIMA, R.L.S. et al. Capacidade da cinza de madeira e do esterco bovino para neutralizar o alumínio trocável e promover o crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 13, n. 1, p. 9-17, 2009.

LOURENZI, C.R. et al. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 949-958, 2014.

_____. et al. Atributos químicos de latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquido de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 233-242, 2016.

MALTA, A.O. et al. Atributos físicos e químicos do solo cultivado com graviola, sob adubação orgânica e mineral. **Revista PesquisAgro**, v. 2, n. 1, p. 11-23, 2019.

MARTINS, D.R. et al. Estado nutricional de cafeeiros comerciais após aplicações de lodo de esgoto como condicionador do solo. **Revista Ciências Agrárias**, v. 58, n. 3, p. 248-256, 2015.

NASCIMENTO, A.L. et al. Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 146-153, 2014.

OLIVEIRA, L.B. et al. Características químicas do solo e produção de biomassa de alface adubada com compostos orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 157-164, 2014.

PINTO, F.A. et al. Atributos de solo sob pastejo rotacionado em função da aplicação de cama de peru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 254-262, 2012.

RHODEN, A.C. et al. Parâmetros químicos do solo influenciados por aplicação de dejetos de suínos em áreas agrícolas do oeste catarinense. **Revista Ciências Agroveterinárias e Alimentos**, v. 2, s.p., 2017.

SANTOS, L.B. et al. Substituição da adubação nitrogenada mineral pela cama de frango na sucessão aveia/milho. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 272-281, 2014.

SCHIMIGUEL, R. et al. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Synergismus Scientifica**, v. 9, n. 1, s.p., 2014.

SILVA, F.A.M.; VILAS-BOAS, R.L.; SILVA, R.B. Resposta da alface à adubação nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 131-137, 2010.

SOARES FILHO, C.V. et al. Atributos químicos no solo e produção de *Cynodon dactylon* cv. Terra verde sob doses de biofertilizante orgânico. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 16, n. 1, p. 23-35, 2015.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STEINER, F. et al. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 16-28, 2011.

TEDESCO, M.J. et al. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 113-136.

TRAZZI, P.A. et al. Esterco de origem animal em substratos para a produção de mudas florestais: atributos físicos e químicos. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 6, p. 455-462, 2012.

VENDRUSCOLO, E.P. et al. Atributos químicos de solo degradado em função da adoção de biochar, culturas de cobertura e residual da aplicação de lodo de esgoto. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 3, p. 235-242, 2016.

WHALEN, J.K. et al. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 3, p. 962-966, 2000.