

APLICAÇÃO DE BIOFERTILIZANTE DE BOVINOCULTURA LEITEIRA EM UM PLANOSSOLO

Alyne Martins Maciel*
Jonathas Batista Gonçalves Silva**
Andressa de Matos Nascimento***
Vanessa Romario de Paula****
Marcelo Henrique Otenio*****

RESUMO: Dejetos de bovinos contêm quantidades significativas de nitrogênio e fósforo. Por isso, o manejo inadequado dos mesmos pode causar eutrofização dos corpos de água e poluição do solo. Porém, o correto manejo destes resíduos estabilizados traz benefícios ao solo, à cultura e possibilita a redução do uso de fertilizantes químicos convencionais. Este trabalho avaliou os efeitos da aplicação do biofertilizante proveniente da Água Residuária de Bovinocultura (ARB) leiteira nas características químicas e físicas de um Planossolo. O trabalho foi realizado no campo experimental da EMBRAPA Gado de Leite, localizado em Coronel Pacheco (MG). Foram aplicadas quatro doses (0, 10, 20 e 30 kg ha⁻¹ de N) de biofertilizante e adubo NPK 30-00-20 em cultura de milho. Nas camadas de 0 a 20 cm de profundidade de solo foram avaliados: pH, textura, densidade, condutividade elétrica, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e) e potencial (CTC_p), soma de bases (SB), saturação por alumínio (m) e por bases (V), teores trocáveis de Ca, K, Mg, N e disponível de P. As doses de biofertilizante de ARB proporcionaram o mesmo efeito da adubação convencional no solo, no que se refere aos teores de macronutrientes, micronutrientes e índices de fertilidades. Os resultados indicam que é possível substituir parcialmente a adubação nitrogenada convencional por biofertilizante de ARB.

PALAVRAS-CHAVE: Água residuária de bovinocultura; Fertirrigação; Qualidade do solo.

* Mestranda pelo Programa de Pós-graduação em Ecologia (PGECOL) da Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil. E-mail: alynemmaciel@hotmail.com

** Engenheiro Agrícola e Ambiental, Docente da Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

*** Mestranda pelo Programa de Pós-graduação em Ecologia (PGECOL) da Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

**** Analista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA Gado de Leite, Brasil.

***** Doutor e Pesquisador da EMBRAPA Gado de Leite e orientador no Programa de Pós-graduação em Ecologia pela Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

APPLICATION OF BIOFERTILIZERS FROM DAIRY LIVESTOCK IN PLANOSOLS

ABSTRACT: Since bovine dejects contain significant quantities of nitrogen and phosphorus, their inadequate management causes eutrophication of water bodies and soil pollution. However, their correct management is beneficent to soil and crops, and reduces the use of conventional chemical fertilizers. Current study evaluates the application of biofertilizers from a dairy Livestock Water Residue (LWR) within the physical and chemical characteristics of planosols. Assay was undertaken on the EMBRAPA Gado de Leite experimental farm in Coronel Pacheco MG Brazil. Four doses (0, 10, 20, 30 kg ha⁻¹ N) of bio-fertilizer and NPK 30-00-20 were applied in corn crops. Texture, pH, density, electric conductivity, organic matter (OM), effective (CTC_e) and potential cationic exchange capacity (CTC_p), sum of bases (SB), saturation by aluminum (m) and by bases (V), exchangeable rates of Ca, K, Mg, N and disposable rate of P at 0 – 20 cm layers of soil were evaluated. Bio-fertilizer doses of LWR provide similar effects to conventional fertilization in the soil with regard to macronutrient, micronutrients and fertility indexes. Results show that the partial replacement of conventional nitrogen fertilization by LWR bio-fertilizer is possible.

KEY WORDS: Livestock Water Residue; Fertirrigation; Soil quality.

INTRODUÇÃO

Com a produção anual de 34 bilhões de litros de leite, o Brasil está entre os maiores produtores, onde em 2016 ocupou o sexto lugar no *ranking* mundial (*United States Department of Agriculture - USDA*, 2016). A produtividade média brasileira, em 2016, foi de 1.709 litros de leite/vaca/ano, demonstrando um crescimento de 4,2% em relação ao índice observado em 2015 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2016). Esta produtividade considerável está relacionada aos sistemas de criação em confinamento adotados no Brasil.

No entanto, um dos maiores problemas da criação de bovinos de leite, em sistemas de confinamento, é a grande quantidade de dejetos gerados diariamente, o que faz necessário o tratamento para a correta disposição no ambiente. Por ano são gerados no Brasil cerca de 317 milhões de toneladas de dejetos de bovinos leiteiros (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2012). De acordo com o mesmo

estudo, uma das técnicas atuais para o tratamento desses resíduos é a biodigestão anaeróbia, por meio da instalação de biodigestores.

Os biodigestores são constituídos por uma câmara hermeticamente fechada, sem nenhum contato com o ar atmosférico, onde o material orgânico sofre degradação anaeróbia devido à ação dos microrganismos, produz um efluente final com características agrônômicas benéficas à fertilidade do solo, e ainda propicia a geração de biogás (DOTTO; WOLFF, 2012). Pelo fato de o Brasil ser um país com clima tropical, torna-se favorável à biodigestão anaeróbia, e assim, o sistema fornece condições propícias às arqueas metanogênicas, para que degradem o material orgânico e liberem o gás metano, permitindo desta maneira a valorização de um produto energético e também a produção do biofertilizante (CÔTE et al., 2006; JÚNIOR et al., 2009).

O biofertilizante contém nutrientes essenciais para a planta, onde o nitrogênio amoniacal é o mais abundante, e possui ainda quantidades consideráveis de potássio, cálcio, fósforo e magnésio (MENDONÇA et al., 2016). Doses de nitrogênio, fornecidas por biofertilizante de Água Residuária de Bovinocultura (ARB) e uréia, foram aplicadas na cana-de-açúcar (SP 803280 e RB 867515), e avaliou-se o crescimento (MENDONÇA et al., 2016). Os cultivares obtiveram crescimento semelhante, pois ambos os fertilizantes fornecem as mesmas doses de nitrogênio, além disso, os autores ressaltam que as maiores doses de biofertilizante proporcionaram melhor eficácia no crescimento da planta.

Semelhantemente, Zanine et al. (2004) executaram um experimento em um Planossolo, visando avaliar os efeitos do nitrogênio proveniente de ARB, nas raízes de quatro gramíneas forrageiras. Como resultado, obtiveram que a aplicação de ARB beneficiou o crescimento radicular das gramíneas, podendo-se considerar a ARB como fonte alternativa à adubação convencional. Ainda com a finalidade de se obter nutrição balanceada, com maior produtividade e sem elevar os custos, Sousa et al. (2013) avaliaram crescimento, as alterações nas trocas gasosas e a produtividade do pinhão-mansão fertirrigado com diferentes concentrações de biofertilizante bovino. Os autores conferiram que esta atividade melhora produtiva e nutricionalmente as cultivares, e ressaltam que o uso do biofertilizante aumenta a fotossíntese e colorofila em plantas de pinhão-mansão.

Desta forma, a aplicação do biofertilizante tem-se mostrado uma prática muito eficaz, que tem grande potencial de reduzir os impactos ambientais associados ao descarte de dejetos no meio ambiente, e é capaz de melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Além de sua função principal que é fornecer nutrientes ao solo, a matéria orgânica presente no biofertilizante atua como agente cimentante entre as partículas do solo, o que promove a melhoria de seus atributos físicos, eleva a capacidade de troca catiônica e aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas (ALENCAR et al., 2015). Os mesmos autores aplicaram biofertilizante bovino na cultura do feno, com o objetivo de analisar os efeitos provocados no cultivo e na qualidade física do solo. Os resultados indicaram que o biofertilizante melhora, ou pelo menos mantém, a qualidade física do solo, principalmente no que se refere à retenção de água em decorrência do aumento da microporosidade.

É importante destacar que o êxito na aplicação de biofertilizante no solo depende de características do clima, do solo e ainda da composição química da ARB. A presença de sais dissolvidos, íons e a elevada concentração de sódio podem salinizar e/ou sodificar o solo e modificar suas características físico-químicas, causando alteração no desenvolvimento e na produção de diversas culturas (ERTHAL et al., 2010). O aproveitamento agrícola de biofertilizante pode trazer efeitos deletérios ao solo, à água subterrânea e até mesmo à saúde pública, quando não manejado de maneira adequada (SOUZA, 2011). Por isso, as recomendações e técnicas agrícolas devem ser sempre respeitadas, de forma a garantir uma disposição do biofertilizante ambientalmente segura.

No entanto, a correta substituição de biofertilizante por fertilizantes químicos pode ser uma boa alternativa. Salienta-se que em 2015 a demanda total por fertilizantes no Brasil foi da ordem de 30 milhões de toneladas, onde cerca de 65% desse total correspondia a importações (CRUZ et al., 2017). O Brasil foi então classificado como o quarto país que mais consome fertilizantes do mundo, e em virtude dos seus diversos efeitos deletérios fica evidente a necessidade de se substituir esses produtos, de forma a reduzir o consumo e conseqüentemente os impactos ambientais relacionados.

Este estudo avaliou os efeitos da aplicação de biofertilizante (proveniente do tratamento de ARB em um sistema biodigestor anaeróbio) nas características físi-

cas e químicas de um Planossolo, com o intuito de substituir parcialmente a adubação convencional por biofertilizante de ARB.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Gado de Leite situada no município de Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas geográficas: 21° 33' 58" S e 43° 15' 21" W, em uma altitude de 445 metros acima do nível médio do mar (MENDONÇA et al., 2016). O trabalho foi realizado entre os meses de março a julho de 2016. Neste período, a precipitação acumulada, entre o plantio e a colheita do milho, foi de 173,8 mm, a temperatura média máxima foi de 22,3 °C, e a temperatura média mínima foi de 21,0 °C (INMET, 2016).

O solo da área experimental foi classificado como Planossolo Distrófico. Amostras deste solo foram coletadas antes da aplicação do biofertilizante de ARB na área do experimento na camada de 0-0,20 m, a fim de se realizar a caracterização química e física do solo. As amostras coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA), sendo em seguida caracterizadas segundo métodos descritos em EMBRAPA (2011). A caracterização do solo incluiu textura, densidade, condutividade elétrica, pH em água e KCl, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e) e potencial (CTC_p), soma de bases (SB), saturação por alumínio (m), e por bases (V), teores trocáveis de Ca, K, Mg, N e disponível de P.

Ressalta-se que antes do plantio foi realizada uma adubação com 460 kg por hectare com NPK 08-28-16 + 0,5% Zn e calagem em toda a área. As amostras para caracterização do solo, descritas anteriormente, foram coletadas após essa adubação de plantio.

O biofertilizante utilizado na fertirrigação da cultura do milho (*Zeamays*) foi coletado na saída de um biodigestor contínuo (modelo canadense), operado em escala real com um tempo de detenção hidráulica (T_{dh}) médio de 70 dias, o qual é responsável pelo tratamento dos dejetos gerados pelo gado leiteiro. O biodigestor

é abastecido com água de lavagem dos pisos (água de reuso) do campo experimental “Genizinha”, que passa pelas seguintes etapas: lavagem do “freestall”, tanque de equalização (1), peneira separadora de sólidos (2), caixa de areia (3), digestão anaeróbia no biodigestor modelo canadense (4) e lagoa de estabilização (6), como mostrado na Figura 1. O efluente da lagoa é bombeado novamente para lavagem dos currais, e reutilizado em média por 20 a 25 dias, caracterizando como água de reuso (EMBRAPA, 2015).

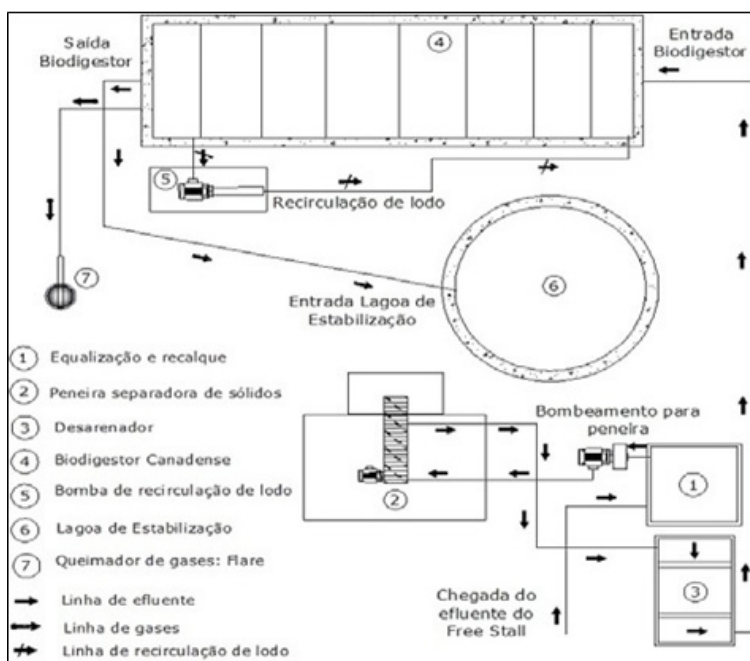


Figura 1. Esquema do sistema de tratamento de ARB da área experimental da Fazenda Embrapa Gado de Leite.

Fonte: Mendonça et al. (2016).

As amostras do biofertilizante foram caracterizadas por meio dos seguintes parâmetros: sólidos totais (ST), cinzas (Cz), pH, sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (SSed), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) (Tabela 1), onde os métodos foram executados conforme Apha et al. (2005).

Tabela 1. Caracterização do biofertilizante de ARB proveniente do sistema de tratamento localizado no campo experimental da EMBRAPA Gado de Leite

Parâmetro	Valor	Desvio Padrão
ST (%) ¹	0,32	0,17
CZ (%) ²	0,15	0,09
SSed (mg.L ⁻¹) ³	2,00	0
SST (mg.L ⁻¹) ⁴	1116,67	306,41
DBO (mg.L ⁻¹) ⁵	227	10
(conclusão)		
DQO (mg.L ⁻¹) ⁶	2004	336
pH	8,81	0,52
N orgânico (mg.L ⁻¹)*	22,46	12,53
N amoniacal (mg.L ⁻¹)*	22,13	15,97
Nitrito (mg.L ⁻¹)*	0,07	0,05
Nitrato (mg.L ⁻¹)*	42,58	14,32
Potássio (mg.L ⁻¹)	0,2	0,23

*Adaptado de Mendonça et al. (2016).

1. Sólidos Totais; 2. Cinzas; 3. Sólidos Sedimentáveis; 4. Sólidos Suspensos Totais; 5. Demanda Bioquímica de Oxigênio; 6. Demanda Química de Oxigênio.

O nitrogênio foi tomado como nutriente de referência na adubação de cobertura do milho, por se tratar do elemento que com a menor dose de aplicação de biofertilizante de ARB atenderá a demanda nutricional da cultura. Foram aplicados 135 kg ha⁻¹ de nitrogênio em todas as parcelas experimentais e a fonte deste elemento foi o que diferiu entre os tratamentos, isto é, variou-se as doses de biofertilizante e adubo NPK 30-00-20.

As lâminas necessárias à aplicação das diferentes doses de biofertilizante foram calculadas utilizando-se a Equação 1 (adaptada de MATOS, 2006).

$$TA_{AR} = 1000 \frac{[N_{abs}]}{[T_{m2} N_{org} + (N_{amoniacal} + N_{nitrato}) TR]} \quad (1)$$

Em que,

- lâmina de aplicação ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$);

- absorção de nitrogênio pela cultura para a obtenção da produtividade desejada ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

$T_{\text{m}2}$ - taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), considerada $0,5 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (MATOS, 2006);

N_{org} - nitrogênio orgânico disponibilizado pelo resíduo aplicado ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$);

N_{amomical} - nitrogênio amoniacal disponibilizado pelo resíduo aplicado ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$);

N_{nitrito} - nitrogênio nítrico disponibilizado pelo resíduo aplicado ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); e

TR - taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), considerada $0,70 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (MATOS, 2006).

Por se tratar de uma área pequena, homogênea e com as mesmas características de solo, o experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições. Cada parcela experimental foi delimitada com $9,6 \text{ m}^2$ de área, com aproximadamente 60 plantas. Na Tabela 2 são apresentados os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais.

Tabela 2. Doses de biofertilizante e adubo NPK aplicadas no solo da área experimental da EMBRAPA Gado de Leite

Tratamentos	Adubação Inorgânica	Adubação Orgânica (Bio-fertilizante)	Total de Nitrogênio aplicado
1	135 kg ha^{-1} de N (450 kg ha^{-1} de 30-0-20)	0	135 kg ha^{-1} de N
2	125 kg ha^{-1} de N (417 kg ha^{-1} de 30-0-20)	10 kg ha^{-1} de N (20mm = 195 L/parcela)	135 kg ha^{-1} de N
3	115 kg ha^{-1} de N (383 kg ha^{-1} de 30-0-20)	20 kg ha^{-1} de N (40mm = 390 L/parcela)	135 kg ha^{-1} de N
4	105 kg ha^{-1} de N (350 kg ha^{-1} de 30-0-20)	30 kg ha^{-1} de N (60mm = 587 L/parcela)	135 kg ha^{-1} de N

O plantio do milho (híbrido RB 9077 VTPRO) foi realizado no dia 8 de março de 2016, passados 21 dias iniciou-se a adubação de cobertura. Como a dose de biofertilizante resultou em um volume muito alto e, para se evitar o risco de

escoamento superficial, o volume total foi fracionado em cinco doses. As doses foram aplicadas em cinco semanas seguidas, completando-se o volume total requerido pela cultura.

A colheita do milho foi realizada no dia 16 de junho de 2016 e no dia seguinte, com o auxílio de um trado, nas camadas de 0-0, 20 m, amostras compostas de solo foram coletadas em cada parcela. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm, com a finalidade de se realizar as caracterizações: textura, densidade, condutividade elétrica, pH em água e KCl, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC) e potencial (CTC_p), soma de bases (SB), saturação por alumínio (m), e por bases (V), teores trocáveis de Ca, K, Mg, N e disponível de P, após os diferentes tipos de tratamentos com a ARB, conforme métodos descritos em EMBRAPA (2011).

A análise estatística das caracterizações físicas e químicas do solo, após os tratamentos, foi realizada utilizando-se o *software STATISTICA 8.0* (StatSoft, 2007) e considerou-se um nível de significância de 5% na realização dos testes. A normalidade dos dados foi confirmada empregando-se o teste de Shapiro-Wilk (SW) com análise descritiva do conjunto de dados. Para um maior detalhamento das diferenças encontradas entre duas médias específicas, utilizou-se o método de comparação múltipla Tukey, estabelecendo diferentes valores de significância () na avaliação de contrastes mais significativos (OLIVEIRA, 2008). As informações dos testes (ANOVA e Tukey) mais relevantes foram plotadas em *Box Plot* para a representação gráfica dos resultados.

Na Tabela 3 apresentam-se as classes de interpretação de fertilidade de solo para o Estado de Minas Gerais, o qual foi utilizado para comparação, análise e discussão dos resultados obtidos no presente trabalho.

Tabela 3. Classes de interpretação de fertilidade do solo para o Estado de Minas Gerais

Característica	Unidade	Classificação				
		Muito Baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom
Matéria orgânica (MO)	dag/kg	≤ 0,70	0,71 - 2,0	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00
Cálcio Trocável (Ca ²⁺)	cmol _c dm ⁻³	≤ 0,40	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00
Magnésio Trocável (Mg ²⁺)	cmol _c dm ⁻³	≤ 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50
Acidez trocável (Al ³⁺)	cmol _c dm ⁻³	≤ 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00	> 2,00
Soma de Bases (SB)	cmol _c dm ⁻³	≤ 0,60	0,61 - 1,80	1,81 - 3,60	3,61 - 6,00	> 6,00
Acidez Potencial (H + Al)	cmol _c dm ⁻³	≤ 1,00	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00	> 9,00
CTC efetiva (t)	cmol _c dm ⁻³	≤ 0,80	0,81 - 2,30	2,31 - 4,60	4,61 - 8,00	> 8,00
CTC potencial (T)	cmol _c dm ⁻³	≤ 1,60	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00	> 15,00
Saturação por Alumínio (m)	%	≤ 15,00	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0	> 75,00
Saturação por Bases (V)	%	≤ 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,00
Zinco disponível (Zn)*	mg/dm ³	≤ 0,40	0,5 - 0,9	1,0 - 1,5	1,6 - 2,2	> 2,20
Manganês disponível (Mn)*	mg/dm ³	≤ 2,00	3,0 - 5,0	6,0 - 8,0	9 - 12	> 12,0
Ferro disponível (Fe)*	mg/dm ³	≤ 8,00	9,0 - 18,0	19,0 - 30,0	31,0 - 45,0	> 45,0
Cobre disponível (Cu)*	mg/dm ³	≤ 0,30	0,4 - 0,7	0,8 - 1,2	1,3 - 1,8	> 1,8

*Acima da classe média, indica o nível crítico.

Fonte: Adaptada de Ribeiro et al. (1999).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os micro e macronutrientes, isto é, cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), fósforo disponível (P), fósforo remanescente (P-rem) e nitrogênio (N), a acidez potencial (H + Al), acidez trocável (Al³⁺), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC) e potencial (CTC_p), soma de bases (SB), saturação por alumínio (m) e por bases (V), não variaram estatisticamente ao nível de 5% de significância (Tabela 4). No entanto, teor de Potássio disponível (K) no solo variou ao nível de 5% de significância (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, P-rem, K, N, H + Al, Al^{3+} , CTC_p , CTC_r , SB, m, V, determinados nas parcelas experimentais antes e após a aplicação dos tratamentos na camada de 0 a 20 cm

Parâmetros	Início	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
Ca^{2+} (cmol _c .dm ³)	4,77	4,22 (±0,64)	4,35 (±0,90)	4,21 (±0,87)	4,44 (±0,56)
Mg^{2+} (cmol _c .dm ³)	1,24	1,06 (±0,10)	1,25 (±0,19)	1,21 (±0,12)	1,29 (±0,11)
P (mg.dm ³)	16,50	81,65 (±4,93)	94,65 (±47,61)	124,98 (±34,95)	118,83 (±14,01)
P-rem (mg.L ⁻¹)	20,90	19,50 (±1,71)	22,18 (±2,81)	21,18 (±2,66)	22,25 (±2,01)
K (mg.dm ³)	89,00	112,75 (±39,91) c	164,25 (±14,89) ab	144,75 (±19,47) bc	195,00 (±7,35)a
N (dag.kg ⁻¹)	0,21	0,38 (±0,01)	0,39 (±0,02)	0,40 (±0,01)	0,39 (±0,05)
H+Al ¹ (cmol _c .dm ³)	7,20	5,83 (±2,57)	7,23 (±0,62)	7,25 (±1,28)	7,53 (±0,45)
Al^{3+2} (cmol _c .dm ³)	0,39	0,63 (±0,19)	0,40 (±0,14)	0,48 (±0,25)	0,30 (±0,23)
CTC_t^3 (cmol _c .dm ³)	6,63	6,19 (±0,74)	6,30 (±0,87)	6,26 (±0,95)	6,31 (±0,46)
CTC_r^4 (cmol _c .dm ³)	13,44	11,39 (±1,89)	13,13 (±1,32)	13,04 (±0,75)	13,53 (±0,57)
SB ⁵ (cmol _c .dm ³)	6,24	5,57 (±0,81)	5,90 (±0,95)	5,79 (±1,03)	6,01 (±0,66)
m ⁶ (%)	5,90	10,28 (±3,44)	6,55 (±2,78)	7,78 (±4,48)	4,90 (±3,93)
V ⁷ (%)	46,40	50,80 (±16,32)	44,80 (±3,64)	44,53 (±8,42)	44,33 (±3,63)

- 1. Acidez potencial; 2. Acidez trocável; 3. Capacidade de troca catiônica efetiva; 4. Capacidade de troca catiônica potencial; 5. Soma de Bases; 6. Saturação por alumínio; 7. Saturação por bases.
- As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O *Box Plot* comparativo de K para as quatro doses de biofertilizante de ARB aplicadas é apresentado abaixo (Figura 2), evidenciando-se uma tendência de aumento deste elemento no solo com o aumento da dose de biofertilizante. Adicionalmente verificou-se pelo teste de Tukey a 5% que o teor de potássio nas parcelas submetidas ao tratamento 4 foi superior quando comparado com as médias obtidas com os tratamentos 3 e 1.

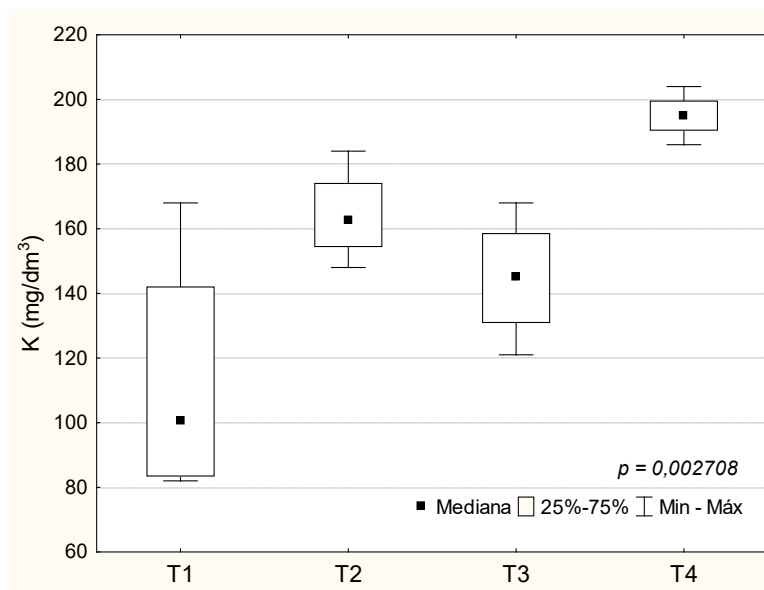


Figura 2. Box Plot comparativo de potássio para as quatro doses de biofertilizante de ARB aplicadas.

O potássio é o segundo nutriente mais requerido pelas plantas, e a sua disponibilidade no solo é fortemente influenciada pelo teor de água presente na solução do solo (SANTOS; FAGERIA; ZIMMERMANN, 2002; ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2003; ROSOLEM et al., 2006). Além disso, a MO existente na ARB aumenta a eficiência de absorção de K no solo (NASCIMENTO et al., 2017). Ressalta-se que o biofertilizante utilizado no presente trabalho possui teores de água e MO relevantes, sendo assim, acredita-se que os altos teores de potássio nas parcelas que receberam as maiores doses de biofertilizante de ARB se justifiquem por este fato.

De acordo com as recomendações agronômicas para Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999), todos os micro e macronutrientes se mantiveram entre níveis bom e muito bom para o solo após os tratamentos. As concentrações médias de nitrogênio foram iguais estatisticamente após os tratamentos, tal comportamento está associado ao fato de que a quantidade de N aportado em cada parcela ser a mesma (135 kg ha^{-1}), diferindo apenas a fonte de aplicação (adubo NPK e biofertilizante de ARB).

Souza et al. (2009) analisaram a variação do nitrogênio e fósforo em um solo fertirrigado com ARS, e como resultado obtiveram um acréscimo nas concentra-

ções de fósforo e nitrogênio disponíveis, comparadas às condições iniciais. Acréscimos nos teores de N e P também foram verificados no presente estudo, em virtude da água residuária tanto da bovinocultura, como da suinocultura serem ricas em nitrogênio e fósforo. Quando a matéria orgânica, presente no biofertilizante, é mineralizada, ocorre um aumento da disponibilidade dos nutrientes N e P para o solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

No presente estudo, os teores de Ca^{2+} trocável se mantiveram como muito bons após a aplicação de todos os tratamentos, e os teores de Mg^{2+} se classificaram como bons antes do plantio e após as aplicações do biofertilizante de ARB (RIBEIRO et al., 1999). A presença de Ca^{2+} e Mg^{2+} é importante para o solo, pois são macronutrientes fundamentais para o desenvolvimento e produtividade da planta. Salienta-se que a aplicação dos tratamentos com biofertilizantes não resultaram em efeitos deletérios para o solo, mantendo o equilíbrio nutricional destes macronutrientes.

Com base na interpretação da recomendação agrônômica para Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999), a acidez trocável se classificou entre média e baixa, o que é bom ao solo, pois esta condição indica que o complexo de troca tem sido ocupado por bases, sendo favorável ao crescimento da planta. Já a acidez potencial é dada como alta, o que não é bom para o solo, devido ao excesso de prótons e alumínio, sendo o alumínio tóxico à planta. Portanto, o solo se classifica como ácido, apresentando maior teor de prótons.

Cabral et al. (2011) analisaram o impacto da ARS no solo e na produção de capim-elefante, concluindo que em todas as camadas analisadas ocorreram reduções na concentração de acidez trocável, sendo que os teores de Al^{3+} no solo decresceram linearmente de acordo com o aumento das doses aplicadas. Tal comportamento pode estar associado à capacidade da matéria orgânica complexar o alumínio. No presente estudo, pode-se observar uma redução do valor de acidez trocável no tratamento 4, que é o que recebeu maior volume de biofertilizante de ARB, e consequentemente, maior quantidade de matéria orgânica. No entanto, ambos os tratamentos não variaram estatisticamente.

Com relação a CTC efetiva (t) e potencial (T), ambas são classificadas como boa para o solo. A CTC representa a capacidade de armazenagem de cátions no solo, logo, quanto maior for este índice, maior a capacidade deste solo em ceder e reter

elementos químicos. No presente trabalho, tanto a CTC efetiva (t) quanto a potencial (T) mantiveram valores próximos ao anterior à aplicação do biofertilizante.

Teores de bases são excelentes indicativos das condições gerais de fertilidade do solo, pois são largamente utilizados pelas plantas, sendo denominados como macronutrientes. A soma de bases ficou entre bom e muito bom, e as saturações por alumínio e por bases baixo e médio, respectivamente. Um dos principais resultados encontrados a partir da aplicação de biofertilizante bovino, no solo e na cultura do sorgo, foi que o biofertilizante, como fonte de adubação orgânica ao solo, aumenta os teores de bases no solo quando comparado à adubação mineral (MATOS et al., 2015).

Os parâmetros pH, matéria orgânica (MO), condutividade elétrica (CE) e densidade do solo, e os metais Cobre disponível (Cu), Manganês disponível (Mn), Ferro disponível (Fe) e Zinco disponível (Zn), (Tabela 5) não variaram estatisticamente ao nível de 5% de significância.

Tabela 5. Valores médios dos teores de pH, MO, CE, densidade, Cu, Mn, Fe e Zn determinados nas parcelas experimentais antes e após a aplicação dos tratamentos na camada de 0 a 20 cm

Parâmetros	Início	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
pH	4,82	4,65 ($\pm 0,04$)	5,25 ($\pm 0,84$)	4,62 ($\pm 0,20$)	4,76 ($\pm 0,26$)
MO ¹ (dag.kg ⁻¹)	3,45	1,78 ($\pm 0,37$)	1,97 ($\pm 0,44$)	2,04 ($\pm 0,22$)	1,74 ($\pm 0,65$)
CE ² ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	128,28	195,25 ($\pm 73,87$)	147,88 ($\pm 38,44$)	213,10 ($\pm 61,20$)	211,63 ($\pm 36,36$)
Densidade (g.cm ⁻³)	1,02	0,99 ($\pm 4,14$)	1,01 ($\pm 2,56$)	1,02 ($\pm 2,52$)	1,00 ($\pm 3,73$)
Cu (mgdm ⁻³)	-	4,46 ($\pm 0,40$)	4,25 ($\pm 0,18$)	4,56 ($\pm 0,44$)	4,73 ($\pm 0,19$)
Mn (mgdm ⁻³)	-	77,78 ($\pm 18,05$)	67,10 ($\pm 17,47$)	81,68 ($\pm 33,68$)	86,85 ($\pm 12,64$)
Fe (mgdm ⁻³)	-	114,45 ($\pm 20,03$)	97,08 ($\pm 14,23$)	113,13 ($\pm 16,12$)	122,28 ($\pm 30,64$)
Zn (mgdm ⁻³)	-	19,09 ($\pm 6,05$)	20,14 ($\pm 13,42$)	17,88 ($\pm 4,70$)	15,30 ($\pm 2,54$)

1. Matéria orgânica; 2. Condutividade Elétrica.

Segundo a classificação agronômica do solo (RIBEIRO et al., 1999), o pH manteve-se com uma qualificação baixa ou inadequada mesmo após a aplicação dos tratamentos. O biofertilizante é rico em matéria orgânica, quando ocorre a mineralização da mesma, ácidos carboxílicos e húmicos são liberados, reduzindo o pH, outra justificativa é que a mineralização dos compostos orgânicos libera compostos de nitrogênio e enxofre reduzidos que, ao sofrerem oxidação, podem liberar prótons na solução do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O mesmo resultado foi encontrado na análise de acidez potencial e trocável, onde detectou-se que o solo tem um maior teor de prótons, o que o torna ácido.

Com a incorporação de nutrientes na solução do solo, os valores de condutividade tendem a se elevar, como mostram os resultados. No entanto, os valores de CE são iguais estatisticamente após os quatro tratamentos realizados, e ressalta-se que não foi verificada a salinização do solo, uma vez que a CE permaneceu abaixo de $4000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (RIBEIRO et al., 1999).

Após os tratamentos, os valores para a densidade se mantiveram próximos aos resultados de antes da aplicação, o que é bom para o solo, pois a aplicação de biofertilizante não o comprometeu negativamente, mantendo a sua porosidade. O aumento na densidade do solo acarreta na diminuição da porosidade e altera a distribuição do diâmetro dos seus poros, o que modifica a disponibilidade de água, prejudica a troca de gases, dificulta o desenvolvimento radicular, entre outros (KLEIN; LIBARDI, 2000).

Com relação ao teor da matéria orgânica, pode classificar-se como baixo e médio (RIBEIRO et al., 1999), podendo se observar uma redução da MO após aplicação dos tratamentos. A matéria orgânica presente no solo pode sofrer decomposição extra após a adição de substâncias orgânicas decomponíveis. Esse fenômeno é definido como *efeito priming*, e é conhecido pela aceleração da mineralização natural, provocada por um gatilho, como por exemplo, a aplicação de matéria orgânica fresca ao solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Este efeito pode ter acontecido a partir da aplicação do biofertilizante ao solo, que possui quantidades consideráveis de substâncias orgânicas metabolizáveis.

Com o objetivo de avaliar o efeito do uso prolongado (15 anos) de dejetos de suínos como fertilizante, sobre os atributos químicos do solo, Scherer et al.

(2010) coletaram amostras de solo e compararam com amostras de solos adubados com fertilizante mineral. Os autores relataram que o teor de matéria orgânica não foi alterado após as sucessivas aplicações, em razão do baixo teor de matéria seca e carbono orgânico que os dejetos líquidos de suínos apresentam.

Ao analisar os dados dos metais, e compará-los com a recomendação agrônômica (RIBEIRO et al., 1999), as concentrações de todos os metais e em todas as parcelas experimentais são consideradas elevadas e críticas, podendo acarretar toxicidade às culturas.

No entanto, a matéria orgânica presente no solo pode atuar realizando a quelatação e a complexação de metais como Zn, Cu, Fe e Mn, fazendo com que esses micronutrientes apresentem baixa mobilidade no solo (SILVA et al., 2016). Não foram realizadas análises de metais presentes no solo antes da aplicação do biofertilizante para comparação dos resultados. Portanto, a aplicação de biofertilizante no solo, rico em MO, faz com que os níveis de metais que poderiam ser tóxicos às plantas sejam reduzidos.

A Resolução CONAMA 420 de 2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores quanto à presença de substâncias químicas no solo em decorrência de atividades antrópicas (BRASIL, 2009). Para os elementos Al, Fe e Mn, que são os elementos tóxicos mais comuns nos solos brasileiros, a Resolução não estabelece limites. Para o Cu o limite é de 204 mg/dm³ (200 mg/kg por peso seco) e, para o Zn, o limite é de 459 mg/dm³ (450 mg/kg por peso seco), estando, portanto, todos esses elementos, após a aplicação dos tratamentos, dentro dos padrões.

O trabalho de Scherer et al. (2010) apresentou maiores concentrações de Cu e Zn nas amostras de solo adubados com fertilizante orgânico (dejetos suínos) do que nas amostras adubadas com o fertilizante mineral, no entanto, não se observou relação desse aumento com o tempo de aplicação dos dejetos (15 anos). Houve um maior acúmulo de Zn principalmente na superfície do solo, devido à ciclagem do nutriente pelas plantas e ao não revolvimento do solo e incorporação dos dejetos. Sabe-se ainda que dejetos suínos possuem altas concentrações desses metais, e que os elementos Cu e Zn possuem baixa mobilidade no solo, diminuindo os riscos ambientais por lixiviação.

Diante dos resultados verificou-se que há um uso potencial do biofertilizante

zante de ARB na produção agrícola, uma vez que proporcionou o mesmo efeito, em relação à produtividade e aos parâmetros físicos e químicos analisados, da adubação inorgânica. Associado ao benefício econômico tem-se como outro fator positivo a apresentação de mais uma alternativa na disposição final de efluentes agroindustriais de maneira ambientalmente correta e segura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As distintas doses do biofertilizante utilizado proporcionaram o mesmo efeito, estatisticamente, da adubação inorgânica no solo, em quase todas as características físicas e químicas do solo. Apenas os teores de potássio se apresentaram mais elevados no solo quando aplicadas maiores doses de biofertilizante.

Verifica-se a possibilidade de substituir parcialmente a adubação nitrogenada convencional por biofertilizante de ARB em até 22%. Este percentual pode ser aumentado desde que sejam realizados estudos que comprovem a sua eficácia.

Uma vez que a substituição do adubo inorgânico por biofertilizante não trouxe efeito deletério ao solo, afirma-se que a fertirrigação com este efluente torna-se uma alternativa de disposição final ambientalmente controlada, o que oferece ao produtor mais uma opção de manejo adequado dos resíduos produzidos, além de economia na produção agrícola.

5 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à EMBRAPA Gado de Leite - projeto Indicadores Hídricos em sistemas de produção de leite, financiado pelo Sistema Embrapa de Gestão, SEG n° 02.14.21.003.00.00, e à FAPEMIG, pelo apoio financeiro ao trabalho.

Ao Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA), do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), pela parceria.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia (PGECOL) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

REFERÊNCIAS

ALENCAR, T. L. de. et al. Atributos físicos de um Cambissolo cultivado e tratado com biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, 2015.

APHA - American Public Health Association; American Waterworks Association AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: WEF, 1368p. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicado no Diário Oficial da União em 30 dez. 2009.

CABRAL, J. R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, Campina Grande ago. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000800009&lng=pt&nrm=i>. Acesso em: 01 out. 2016.

CÔTE, C.; MASSE, D. I.; QUESSY, S. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 97, n. 1, p. 686-691, 2006.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. dos S.; FIGUEIREDO, V. S. de. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. **BNDES Setorial - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**, Rio de Janeiro, n. 45, 2017.

DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e Produção de Biogás Utilizando Dejetos Bovinos. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012. Disponível em: <<http://sites.unifra.br/Portals/36/Tecnologicas%202012/02.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. revista. Rio de Janeiro: E-Embrapa CNPS, 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/990374/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>>. Acesso em: 08 jul. 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção de biogás a partir de dejetos da pecuária leiteira**. EMBRAPA Gado de Leite, 2015. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1038285/1/Cnppl2015PanLeiteProducao.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n5/a03v14n5.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Agricultura e Pecuária**. 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>>.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Coronel Pacheco, MG. 2016.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

JÚNIOR, C. B.; et al. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2. ed. Foz do Iguaçu; Brasília: Itaipu Binacional; FAO; Techno Politik, 2009.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, 2000.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: AEAGRI, 2006. 142 p. (Caderno Didático n. 38).

MATOS, C. F. et al. Efeito da aplicação de biofertilizante de dejetos de bovino no solo e cultura do sorgo. In: **Embrapa Solos - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL. São Paulo. Anais... São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015.

MENDONÇA, H. V. et al. Crescimento de cana-de-açúcar sob aplicação de biofertilizante da bovinocultura e ureia. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá. Disponível em: <<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/4460>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. da UFLA, 2006, 729 p.

NASCIMENTO, J. A. M. et al. Produção de melancia em solo adubado com esterco bovino e potássio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 122-127, 2017.

OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. **Revista Eletrônica Nutritime**. nov./dez., 2008.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

ROSOLEM, C. A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, 2006.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 355-362, 2003.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo

afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 12-16, 2002.

SCHERER, E. E.; NESI C, N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, 2010.

SILVA, J. B. G. et al. Concentração de metais em um solo adubado com água residual da bovinocultura de leite. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 4, p. 357-367, 2016.

SOUSA, G. G. et al. Fertirrigação com biofertilizante bovino: efeitos no crescimento, trocas gasosas e na produtividade do pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, 2013.

SOUZA, J. A. A. et al. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011.

SOUZA, J. A. R. et al. Variação do nitrogênio e fósforo em solo fertirrigado com efluente do tratamento primário da água residual da suinocultura. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 3, 2009.

STATSOFT. **STATISTICA (data analysis software system)**, version 8.0. 2007. Disponível em: <www.statsoft.com>.

USDA. United States Department of Agriculture. **USDA Foreign Agricultural Service**. 2016.

ZANINE, A. de M. et al. Influência da adubação nitrogenada na forma de chorume bovino na matéria seca e nutrientes acumulados nas raízes de gramíneas forrageiras. **Embrapa Agrobiologia - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2004.

Recebido em: 18/03/2017

Aceito em: 24/05/2018