

## CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO PELA PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE *Pennisetum purpureum* EM DISTINTOS PERÍODOS DE AERAÇÃO

Gustavo de Oliveira Alves<sup>1</sup>; Márcio Neves Rodrigues<sup>2</sup>; Gilmar Rodrigues Cardoso<sup>3</sup>; Regynaldo Arruda Sampaio<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Agronomia, UFMG, e-mail: gustavo.go83@gmail.com; <sup>2</sup>Doutorando em Produção Vegetal, UFMG; <sup>3</sup>Engenheiro Agrícola e Ambiental; <sup>4</sup>Professor ICA-UFMG.

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características químicas do lodo de esgoto submetido ao processo de estabilização por meio de diferentes tempos de aeração, com presença e ausência de *Pennisetum purpureum*. O experimento foi conduzido no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, totalizando 60 dias de avaliação. O lodo de esgoto foi aerado pelos períodos de 0, 14, 28, 42 e 60 dias, com a presença ou ausência do cultivo do *P. purpureum*. Ao final de 60 dias foram avaliados o pH, resíduo mineral, matéria orgânica, carbono total, relação C:N, N total, P, K, Ca, Mn, Cu e Cr. Contudo apenas houveram diferenças estatísticas entre tratamentos para carbono total e nos teores de P, com ambos atingindo maiores quantidades nos períodos 0, 28 e 42 dias de aeração. Por outro lado, ao final de 60 dias observou-se correlações positivas entre carbono total e nitrogênio; pH e relação C:N; Cu e Cr; K e Cr; e negativas entre resíduos mineral e matéria orgânica, Cu e Cr; e para o Mn com ambos Cu e Cr; enquanto para Ca e Mg não foram evidenciadas nenhuma ligação entre as demais características avaliadas. Desta forma, é notada que a presença do *P. purpureum* acelerou o processo de mineralização da matéria orgânica no tempo zero e períodos de 28 e 42 dias, resultando no incremento dos teores de carbono total, fósforo, Cr, Cu e redução nas quantidades de K e Mn.

Palavras-chaves: uso na agricultura; bio sólido; fertilizante orgânico; tratamento de esgoto; capim-elefante.

### CHARACTERISTICS OF SEWAGE SLUDGE STABILIZED BY THE PRESENCE OR ABSENCE OF *Pennisetum purpureum* IN DIFFERENT AERATION PERIODS

### ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the chemical characteristics of the sewage sludge submitted to the stabilization process through different aeration times, with and without

*Pennisetum purpureum*. The experiment was conducted at the Institute of Agricultural Sciences of the Federal University of Minas Gerais, for a total of 60 evaluation days. The sewage sludge was aerated for periods of 0, 14, 28, 42 and 60 days, with the presence or absence of *P. purpureum* cultivation. At the end of 60 days, pH, mineral residue, organic matter, total carbon, C: N, total N, P, K, Ca, Mn, Cu and Cr were evaluated. However there were only statistical differences between treatments for total carbon and in the levels of P, with both reaching greater amounts in periods 0, 28 and 42 days of aeration. On the other hand, at the end of 60 days, positive correlations were observed between total carbon and nitrogen; pH and C: N ratio; Cu and Cr; K and Cr; and negative between mineral residues and organic matter, Cu and Cr; and for Mn with both Cu and Cr; while for Ca and Mg, no link was found between the other characteristics evaluated. Thus, it is noted that the presence of *P. purpureum* accelerated the process of mineralization of organic matter in zero time and periods of 28 and 42 days, resulting in an increase in the total carbon content, P, Cr, Cu and reduction in the amounts of K and Mn.

Keywords: use in agriculture; biosolid; organic fertilizer; sewage treatment; elephant grass.

## INTRODUÇÃO

O tratamento de águas residuais tem se tornado uma prática importante para evitar a degradação dos recursos hídricos. Em decorrência desse fato, tem-se ocorrido o aumento na produção do lodo de esgoto, na qual é um subproduto que tem se tornado uma promissora fonte de adubo para sistemas agrícolas (BRUCE; DAVIS, 1988; DASKALOPOULOS; BADR; PROBERT, 1997). Em diversos estudos, são relatados que aplicações do lodo de esgoto (LE) em áreas agrícolas trouxeram resultados positivos para nutrição de diversas espécies vegetais como milho, feijão, girassol, cana-de-açúcar (ZUBA JUNIO *et al.*, 2013; MELO e LIGO, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 1995; CHIBA *et al.*, 2008, MOHAMED *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 1998; SANTOS *et al.*, 2011).

Além disso, o LE incrementa atributos importantes ao solo; são observadas contribuições positivas ao aplica-lo na formação e estruturação dos agregados, na diversidade e desempenho da comunidade microbiana, no aumento da capacidade de troca de cátions, nos incrementos das frações químicas e físicas da matéria orgânica, e nos teores de carbono (MOHAMED *et al.*, 2018; SOARES *et al.*, 2008; XUE e HUANG, 2013; CARNEIRO *et al.*, 2013; SAITO, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 1995; SILVA *et al.*, 1998). Outros estudos, revelam que o nitrogênio e o fósforo são encontrados em quantidades significantes no lodo de esgoto, seguido pelo cálcio e o magnésio (ALAMINO, 2010; BRIDLE e PRITCHARD, 2004). No mais, é uma efetiva fonte N e P para as produções agrícola, principalmente pela disponibilidade de nutrientes ao longo prazo, advindos dos processos de mineralização (WARMAN e TERMEER, 2004; CARVALHO *et al.*, 2015).

No entanto, para o uso no setor agrário, o LE deve estar estabilizado, e com os compostos orgânicos, metais pesados e os demais poluentes dentro dos limites legislativos aceitáveis, sendo livre de patógenos (BRASIL, 2006). Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 375 publicada no ano de 2006 (BRASIL, 2006), a estabilização do LE ocorre pela ação de biodegradadores, que ao final do processo, não apresenta potencial geração de odor e há redução dos contaminantes. Tais processamentos, como a calagem, vermicompostagem, compostagem, solarização, são apenas alguns dos pós-tratamentos usados para atingir uma maior higienização e redução/disponibilidade de contaminantes no substrato (ALVARENGA *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2014; BRAGA *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2015; BRAGA *et al.*, 2017), sendo buscado, principalmente, procedimentos que acelere o processo e produza compostos devidamente adequados.

Para redução de poluentes e estabilização, o uso da biorremediação encaixa-se de forma viável, por transformar poluentes em substâncias inertes (HOLLINGER *et al.*, 1997) e ao mesmo tempo, fornece condições para o desenvolvimento microbiano, potencializando a mineralização da matéria orgânica (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Os tratamentos empregados, quando aliado com o cultivo de espécies vegetais, como o *Pennisetum purpureum*, observou-se melhorias nas capacidades de estabilização do LE, devido a fitorremediação e estabilização da matéria orgânica. (COSTA, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2018; ALVARENGA *et al.*, 2017). Ademais, Alvarenga *et al.*, (2017) e Alvarenga *et al.*, (2018) observaram possíveis relações mutualísticas entres microrganismos no LE e raízes de *P. purpureum*, acelerando a decomposição e redução de poluentes. É descrito que o *P. purpureum* é uma espécie com alta produtividade e com grande rendimento em sua biomassa, podendo ser direcionada para produção energética e/ou compostagem de resíduos (QUESADA *et al.*, 2004; QUÉNO, 2011).

Com isso, o intuito desse trabalho foi avaliar as características do lodo de esgoto submetido ao cultivo ou ausência de *P. purpureum* em 5 períodos de aeração, com o objetivo de identificar quais períodos se obtém um biossólido com maiores teores de carbono, P, Ca e Mg, além de reduções dos teores de Cr e Cu.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro, no Instituto de Ciências Agrárias - ICA/UFMG, localizado em Montes Claros – MG, (44°55'00" W; 16°51'38" S). Foi avaliado em campo ao longo de três meses. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, tropical de savana, com chuvas registradas no verão e inverno seco, e temperaturas médias entre 22°C e 24°C anuais (ALVARES *et al.*, 2013). O delineamento foi em blocos casualizados, com 4 repetições, em um esquema fatorial 2 x 5, com os tratamentos correspondendo a 5 períodos de aeração do substrato de 0; 14; 28; 48 e 60 dias, com ou sem a presença de *P. purpureum*, totalizando 40 unidades experimentais.

As parcelas experimentais foram em sacos de linhagem do tipo Polipropileno de 60 kg<sup>-1</sup>, de 60x40 cm, revestidas com polietileno para evitar perdas laterais de água. Os sacos foram preenchidos com 50 kg<sup>-1</sup> LE proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-Vieira) da cidade de Montes Claros – MG, qual é gerado através de reatores anaeróbicos UASB, e, logo após, centrifugado e secos a 350 °C por 30 minutos, cujo sua composição está disponível na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas<sup>1</sup> do lodo de esgoto (LE) utilizados no experimento.

Variável	Caracterização												
	pH	RM	MO	C	N	C:N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Cr
		----- % -----					----- g dm <sup>-3</sup> -----				----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
LE	5,51	42,41	29,14	18,02	2,22	8,12	673,94	103,89	20,15	2,61	77,66	7,55	19,44

Notas: <sup>1</sup>Metodologias de Tedesco et al. (1995), Alcarde (2009) e EPA (1994). RM: Resíduos mineral. MO: Matéria orgânica. C: Carbono total. N: Nitrogênio total. C:N: Relação carbono:nitrogênio. P: Fósforo K: Potássio. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. Cu: Cobre. Mn: Manganês. Cr: Cromo.

O meio de propagação vegetativa do *P. purpureum* foi por estaquia. Plantas com 6 meses foram cortadas e retirados toletes com 15 cm, reservando uma única gema em cada. Após o plantio, as mesmas foram mantidas sob monitoramento diário, afim de suprir as necessidades de água e controle de pragas. Foi utilizada uma lâmina de irrigação de 2 mm diariamente, com a presença de 222 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (DUARTE, 2010), sendo que durante os 30 primeiros dias, ocorreram 3 irrigações diárias, com intuito de acelerar o desenvolvimento e redução da mortalidade das estacas (ALVARENGA *et al.*, 2017).

Para ventilação das parcelas foram usados 2 motores de 1,8 cavalos com 3.500 rpm. Com o ar sendo distribuído por 2 saídas em cada motor e direcionado por 4 canos PVC de 50 mm, ramificado por canos de 25 mm ligados a registros de esferas externas para o controle da aeração, com a saída de ar atada aos sacos de linhagem, com arejo amplamente distribuído. A injeção de ar seguiu um intervalo sistemático sem aeração por 30 minutos e com aeração por 30 minutos.

Ao final de 60 dias foram realizadas coletas em profundidades de 0-20 cm, para determinação das suas propriedades e efeito da aeração na camada superior do substrato. As amostras foram secas a 60°C em estufa de circulação forçada de ar por 24h. As mesmas, foram submetidas análises de pH em CaCl<sub>2</sub> 0.01 mol L<sup>-1</sup>, resíduo mineral (RM), matéria orgânica (MO), carbono total (C), nitrogênio total (N), fosforo total (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e manganês (Mn) (TEDESCO *et al.*, 1995; ALCARDE, 2009); e dos metais pesados cobre (Cu) e cromo (Cr) pela metodologia EPA-315 (EPA, 1994).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F à 5% de probabilidade. Desta forma, o fator A (presença ou ausência de plantas) foi analisado por teste de Tukey à 5% de probabilidade, e o fator B (dias de Aeração) por regressão polinomial.

Foi realizado o teste de correlação de Pearson a 0,05 de probabilidade entre as variáveis. Para o desenvolvimento das análises, foi utilizado o software R Studio v1.2.50.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do pH não foram estatisticamente influenciados pelos tratamentos (Tab.2), contudo ocorreu leves reduções no nível de acidez, mantendo-se em escala crescente quanto comparado a caracterização de 0,09 a 0,27. Os tratamentos com a presença de *P. purpureum*, foram os que houveram os maiores aumentos no pH. Alvarenga *et al.*, (2017), relata que relações mutualísticas entre os microrganismos e as raízes do *P. purpureum*, leva a reações químicas que degradam compostos orgânicos e poluentes presentes no LE. Com isso, os produtos oriundos desses processos, podem ser moléculas que capturam ou reagem com o H<sup>+</sup> disponível no biossólido. No mais, é observado que o pH se correlacionou positivamente com C:N (0,7; p<0,05) na Tabela 3. O que ressalta a ocorrência de processos oxidativos na decomposição da MO, principalmente pela imobilização do N por microrganismos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006), que podem resultar em aumentos no pH para próximo de neutro (OLIVEIRA *et al.*, 1995; SILVA *et al.*, 1998).

Tabela 2. Propriedades químicas do lodo de esgoto na camada de 0-20 cm após os 60 dias com diferentes tempos (0, 14, 28, 42 e 60 dias) com e sem a presença de *P. purpureum*

Trat	TA	Variáveis										
		pH	RM	MO	N	C:N	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Cr
			----- mg dm <sup>-3</sup> -----				----- g dm <sup>-3</sup> -----			----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
SP	0	5,71 <sup>a</sup>	42,8 <sup>a</sup>	31,65 <sup>a</sup>	2,33 <sup>a</sup>	8,18 <sup>a</sup>	128,76 <sup>a</sup>	15,21 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	105,39 <sup>a</sup>	4,69 <sup>a</sup>	33,67 <sup>a</sup>
	14	5,5 <sup>a</sup>	44,02 <sup>a</sup>	30,72 <sup>a</sup>	2,23 <sup>a</sup>	7,89 <sup>a</sup>	118,2 <sup>a</sup>	15,51 <sup>a</sup>	1,84 <sup>a</sup>	95,27 <sup>a</sup>	5,39 <sup>a</sup>	28,91 <sup>a</sup>
	28	5,71 <sup>a</sup>	42,7 <sup>a</sup>	32,3 <sup>a</sup>	2,24 <sup>a</sup>	8,47 <sup>a</sup>	127,38 <sup>a</sup>	15,88 <sup>a</sup>	1,57 <sup>a</sup>	102,54 <sup>a</sup>	4,9 <sup>a</sup>	30,84 <sup>a</sup>
	42	5,6 <sup>a</sup>	43,45 <sup>a</sup>	31,5 <sup>a</sup>	2,28 <sup>a</sup>	8,11 <sup>a</sup>	119,56 <sup>a</sup>	14,38 <sup>a</sup>	2,43 <sup>a</sup>	93,96 <sup>a</sup>	5,5 <sup>a</sup>	29,38 <sup>a</sup>
	60	5,95 <sup>a</sup>	42,52 <sup>a</sup>	32,72 <sup>a</sup>	2,31 <sup>a</sup>	8,41 <sup>a</sup>	124,58 <sup>a</sup>	15,21 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	103,25 <sup>a</sup>	4,85 <sup>a</sup>	31,99 <sup>a</sup>
	<b>Média</b>		5,69	43,1	31,78	2,28	8,21	123,7	15,24	1,89	100,08	5,07
CP	0	5,74 <sup>a</sup>	43,77 <sup>a</sup>	29,22 <sup>a</sup>	2,37 <sup>a</sup>	8,41 <sup>a</sup>	117,5 <sup>a</sup>	16,34 <sup>a</sup>	2,07 <sup>a</sup>	93,43 <sup>a</sup>	6,24 <sup>a</sup>	26,97 <sup>a</sup>
	14	5,75 <sup>a</sup>	42,41 <sup>a</sup>	32,29 <sup>a</sup>	2,23 <sup>a</sup>	8,05 <sup>a</sup>	138,06 <sup>a</sup>	16,04 <sup>a</sup>	2,16 <sup>a</sup>	106,5 <sup>a</sup>	4,52 <sup>a</sup>	35,99 <sup>a</sup>
	28	5,78 <sup>a</sup>	43,32 <sup>a</sup>	31,88 <sup>a</sup>	2,27 <sup>a</sup>	8,37 <sup>a</sup>	133,07 <sup>a</sup>	14,46 <sup>a</sup>	1,89 <sup>a</sup>	93,35 <sup>a</sup>	5,29 <sup>a</sup>	28,98 <sup>a</sup>
	42	5,69 <sup>a</sup>	42,85 <sup>a</sup>	31,96 <sup>a</sup>	2,35 <sup>a</sup>	8,25 <sup>a</sup>	123,18 <sup>a</sup>	15,07 <sup>a</sup>	1,84 <sup>a</sup>	103,8 <sup>a</sup>	4,81 <sup>a</sup>	33,03 <sup>a</sup>
	60	5,69 <sup>a</sup>	43,38 <sup>a</sup>	31,72 <sup>a</sup>	2,26 <sup>a</sup>	8,13 <sup>a</sup>	126,67 <sup>a</sup>	14,76 <sup>a</sup>	2,16 <sup>a</sup>	101,88 <sup>a</sup>	4,79 <sup>a</sup>	32,52 <sup>a</sup>
	<b>Média</b>		5,73	43,15	31,41	2,3	8,24	127,7	15,33	2,02	99,79	5,13

Notas: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Trat: Tratamentos. TA: Tempo de aeração. RM: Resíduos mineral. MO: Matéria orgânica. N: Nitrogênio total. C:N: Relação carbono:nitrogênio. K: Potássio. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. Cu: Cobre. Mn: Manganês. Cr: Cromo. 0 - tempo 0 de aeração; 14 dias de aeração; 28 dias de aeração; 42 dias de aeração; 60 dias de aeração; SP: lodo de esgoto sem o plantio de *P. purpureum*; CP: lodo de esgoto com o plantio de *P. purpureum*.

Os teores de matéria orgânica (MO) e resíduo mineral (RM) tiveram poucas variações, com MO tendo acréscimo de 3,15% nos tratamentos com plantas com 14 dias de aeração e o

RM mantendo-se estável em todos os tratamentos (Tab.2). Com isso, não houve significância entre os tratamentos, contudo ambos correlacionaram negativamente na Tabela 3 (-0,79;  $p < 0,05$ ). Carvalho *et al.* (2015) relatam que a MO no lodo de esgoto em processo de compostagem avança ao passo que os compostos mais facilmente degradáveis são consumidos. Desta forma, ao ocorrer a decomposição da MO, aumenta a disponibilidade de nutrientes e há liberação de constituintes ligados a composição do lodo de esgoto (SAITO, 2007, OLIVEIRA *et al.*, 1995), sendo que partes destes RM podem ser potencialmente lixiviadas para as camadas inferiores do LE em tratamento ou adsorvidos pela fração física da MO (SOARES *et al.*, 2008).

Tabela 3: Correlação de Pearson para a camada de 0-20 cm do lodo de esgoto submetido a cinco períodos de aeração com e sem cultivo de *Pennisetum purpureum*.

Variáveis	pH	RM	MO	C	N	C:N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Cr
<b>pH</b>	1,00												
<b>RM</b>	-0,64*	1,00											
<b>MO</b>	0,41	-0,79*	1,00										
<b>C</b>	0,60	-0,17	-0,18	1,00									
<b>N</b>	0,31	0,02	-0,39	0,85*	1,00								
<b>C:N</b>	0,70*	-0,32	0,09	0,85*	0,44	1,00							
<b>P</b>	0,07	0,62	-0,48	0,37	0,33	0,29	1,00						
<b>K</b>	0,40	-0,67*	0,62	-0,21	-0,40	0,05	-0,69*	1,00					
<b>Ca</b>	0,08	-0,11	-0,36	0,13	0,07	0,14	-0,17	-0,02	1,00				
<b>Mg</b>	-0,23	0,30	-0,26	-0,26	-0,02	-0,42	0,21	-0,10	-0,28	1,00			
<b>Cu</b>	0,35	-0,84*	0,64*	-0,04	-0,05	-0,02	-0,71*	0,53	0,22	-0,31	1,00		
<b>Mn</b>	-0,24	0,78*	-0,86*	0,31	0,35	0,17	0,73*	-0,68*	0,15	0,27	-0,88*	1,00	
<b>Cr</b>	0,25	-0,79*	0,68*	-0,25	-0,18	-0,24	-0,78*	0,68*	0,04	-0,04	0,93*	-0,92*	1,00

Notas: Valores com \* são significantes a 0,05 probabilidade pelo teste de Pearson. RM: Resíduos mineral. MO: Matéria orgânica. C: Carbono total. N: Nitrogênio total. C:N: Relação carbono:nitrogênio. P: Fósforo K: Potássio. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. Cu: Cobre. Mn: Manganês. Cr: Cromo.

O C e o N tiveram oscilações dentro dos tratamentos, desde 0,01% a 1,92%, contudo não houve diferenças estatísticas para o N. Para C, os tratamentos SP e CP tiveram reduções no teor de C no período de 14 dias de aeração (Tab.4), porém não foram notadas diferenças entre o controle e os demais períodos para ambos. Contudo, nota-se que os teores C aumentaram à medida que incrementaram os períodos de aeração para SP. Por outro lado, a presença do *P. purpureum*, elevou os teores de C no controle (Tempo 0) e no período de 42 dias de aeração, em comparação ao SP. Essas reduções podem ser relacionadas com o consumo do C pela população de microrganismos aeróbicos, principalmente pela baixa relação C:N, na qual facilita ação dos mesmo sobre a MO (YUAN *et al.*, 2016; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006), desta forma, conseguindo degradar compostos de maior complexidades. No mais, a presença do *P. purpureum* ampliar os teores de C até os 42 dias de aeração em maior taxa em relação ao SP, contudo a 60 dias podem ocorrer expansão da microbiota, principalmente pela expansão radicular, qual aumentar o consumo do C como fonte de

nutrição para os mesmos. Carvalho *et al.*, (2015) citam que as frações do N e C presentes no LE, predominam, principalmente em forma de compostos orgânicos (80% e 70%, respectivamente do conteúdo total), que conseqüentemente, tornam-se uma fonte de nutrientes para os microrganismos. Além disso, é notado que à medida que aumenta os teores de carbono, se incrementa a relação C:N (0,85;  $P < 0,05$ ) na Tabela 3. Portanto, pode-se indicar que ocorreu aumentos nas atividades microbianas devido à baixa relação de C:N de 1:8, cujo há uma intensa imobilização do N pelos microrganismos para degradação da MO (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; COSTA *et al.*, 2013). Por outro lado, os teores de nitrogênio total, mantiveram próximos dos teores obtidos na caracterização (Tab.2), principalmente no tratamento com a presença de *P. purpureum*, já que a alta relação C:N facilita o processo de perca do mesmo (BERNAL; ALBURQUERQUE; MORAL, 2009).

Tabela 4: Carbono e fosforo na camada de 0-20 cm do lodo de esgoto submetido a cinco períodos de aeração.

Tratamento	Tempos de aeração (dias)				
	0	14	28	42	60
	-----C total (%)-----				
SP	19,07Ab	17,59Ba	18,97Aa	18,5Ab	19,42Aa
CP	19,94Aa	17,96Ba	19ABa	19,38Aa	18,37Bb
	-----P (mg dm <sup>-3</sup> )-----				
SP	795,57Bb	897,43Aa	849,03ABa	911,17Aa	927,44Aa
CP	962,78Aa	787,74Bb	904,46Aa	878,72ABa	909,92Aa

Notas: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. C: Carbono Total. P: Fósforo. 0 – 0 dias de aeração; 14 dias de aeração; 28 dias de aeração; 42 dias de aeração; 60 dias de aeração; SP: lodo de esgoto sem o plantio de *P. purpureum*; CP: lodo de esgoto com o plantio de *P. purpureum*.

O P foi influenciado estatisticamente pelos tratamentos (Tab.4), tendo maior disponibilidade no controle, nos períodos de aeração entre 28 e 60 dias para as CP, enquanto para SP manteve-se igual entre os 14 e 60 dias de aeração. A presença do *P. purpureum* aumentou os teores de P no controle em 167,21 mg dm<sup>-3</sup> em comparação a SP, enquanto para os períodos 14, 28, 42 e 60 não foram notadas distinção entre ambos. Os incrementos nos teores de P no controle podem ser evidenciados devido à maior taxa de mineralização dos microrganismos e expansão do sistema radicular. Moreira e Siqueira (2006) citam que os microrganismos se desenvolvem próximos ao sistema radicular consumindo a MO advindo de restos radiculares ou incorporada nas proximidades das raízes. Desta forma, ausência de aeração, induz o sistema radicular desenvolve-se próximo a superfície, já que muitos modelos ecológicos de crescimento de plantas assumem que a biomassa é alocada preferencialmente para aqueles órgãos necessários na captura de recurso externo limitante (SHIPLEY e MEZIANE, 2002). Isso, resulta na formação de microclimas na camada 0-20 cm, quais podem induzir positivamente no desenvolvimento de microrganismos que atuam sob mineralização do P.

Para o K, não foram observados influência dos tratamentos sob os a quantidade do mesmo (Tab.2), contudo ocorreu correlações negativas com P (-0,69;  $p < 0,05$ ) e RM (-0,67;  $p < 0,05$ ) e Mn (-0,68;  $p < 0,05$ ) na Tabela 3. Por outro lado, os teores do K são elevados nos tratamentos CP, principalmente no período de 14 dias de aeração em comparação a caracterização. De certa forma, o LE não é considerado uma boa fonte de K para agricultura (CORREIA, 2015; ALAMINO, 2010), sendo em alguns casos aplicado com fertilizantes complementares (BONINI; ALVES; MONTANARI, 2015; CALDEIRA JÚNIO *et al.*, 2009). No mais, o potássio pode ter sido lixiviado para camadas inferiores do tratamento ao passo que ocorreu o processo de mineralização. Os níveis de Ca, Mg e Mn reduziram no biossólido, principalmente em tratamentos SP, contudo os mesmos não foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos, assim como não foram obtidas correlação com as demais variáveis para Ca e Mg (Tab.3). A redução do Ca, Mn e Mg podem estar relacionadas com a mineralização potencializada pela formação de um microclima favorável ao desenvolvimento de microrganismos, que agem disponibilizando esses elementos, quais podem ser lixiviados. Isso é notado, principalmente para o Mn, conforme as correlações positivas com MO (0,64;  $p < 0,05$ ) e negativas com elementos quais foram incrementados, como Cr (-0,92;  $p < 0,05$ ) e Cu (-0,84;  $p < 0,05$ ), ao passo que se elevou a MO no biossólido.

Os teores de Cu e Cr aumentaram em todos os tratamentos avaliados, porém não foram estatisticamente diferentes (Tab.2). Para Cr apresentou ligações positivas com MO e K de 68% e Cu de 92% e negativas com RM e P de 78% e Mn de 92%, enquanto o Cu, relacionou negativamente com MO e K em 84% e 71% ( $p < 0,05$ ) na Tabela 3. Ambos os elementos foram influenciados aumentando devido a mineralização, levando ao acúmulo dos mesmos lodos. Cuske *et al.* (2016) citam a relação do Cu com a amônia, uma vez que parte da matéria orgânica do lodo pode ser facilmente transformada em amônia gasosa, contribuindo para a formação do complexo amina-metal, formando complexos de amina-Cu. Nesse estudo, a relação C:N foi em média de 8,21 para SP e 8,24 para CP, podendo ocasionar a liberação de íons de amônio (BERNAL *et al.*, 2009), quais podem reagir com os Cu, principalmente no decorrer da degradação da MO, já que MO correlaciona positivamente com cobre (0,68;  $p < 0,05$ ). Em diversos trabalhos são demonstrados que *P. purpureum* tem conseguido fitoextrair metais traços como Zn, Cr, Cd, Cu e As; acumulando-os principalmente nas raízes (ALVARENGA *et al.*, 2019; ALVARENGA *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2010). Portanto, a presença do vegetal, atua ampliando a mineralização da matéria orgânica, ao passo que ocorre processos de fitoextração de Cr e Cu ou lixiviação dos mesmos, já que ocorrem correlações negativas para ambos com o RM (-0,79 e -0,84, respectivamente;  $p < 0,05$ ).

## CONCLUSÃO

A presença de aeração e do *P. purpureum* não influenciaram os teores de Ca, Mg, Mn, Cr e Cu, contudo foi obtido ganhos nos teores de carbono total e fósforo principalmente no controle (0 dias de aeração) e entre os períodos de 28 e 42 dias de aeração. No mais, é notado reduções nos teores de Mn e K e aumentos nos teores de Cr e Cu, devidos suas correlações com resíduo mineral e a matéria orgânica.

## AGRADECIMENTO

Encarecidamente, agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Programa de Ensino Tutorial PET/ Mec / SESu e a Universidade Federal de Minas Gerais pelo apoio financeiro e bolsa de IC concedida.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, JC (2009) **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ. 259p.
- ALVARENGA, A. C.; SAMPAIO, R. A.; PINHO, G. P.; CARDOSO, P. H. S.; SOUSA, I. de P.; BARBOSA, M. H. C.. Phytoremediation of chlorobenzenes in sewage sludge cultivated with *Pennisetum purpureum* at different times. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 21, n. 8, p. 573-578, ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p573-578>.
- ALVARENGA, A. C.; CARDOSO, P. H. S.; COUTINHO, M. A. N.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A.. Produção de biomassa e fitoextração de Cu e Zn pelo capim-elefante cultivado em lodo de esgoto puro. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [s.l.], v. 26, n. 5, p. 473-482, 7 nov. 2018. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v26i5.945>.
- ALVARENGA, A. C.; CARDOSO, P. H. S.; CUNHA, I. G. S.; GONÇALVES, P. W. B.; SAMPAIO, R. A. Extração de Arsênio em lodo de esgoto através do processo de fitoextração. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [s.l.], v. 27, n. 6, p. 565-573, 21 out. 2019. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v27i6.6242>.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M.; AZEVEDO, J. C. R. de. Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 21, n. 1, p. 43-53, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41520201600100119334>.

BRAECKEVELT, M.; MIRSCHEL, G.; WIESSNER, A.; RUECKERT, M.; REICHE, N.; VOGT, C.; SCHULTZ, A.; PASCHKE, H.; KUSCHK, P.; KAESTNER, M. Treatment of chlorobenzene-contaminated groundwater in a pilot-scale constructed wetland. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 45-53, maio 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.002>.

BRAGA, F. M.; CARDOSO, P. H. S.; BARBOSA, M. H. C.; RODRIGUES, M. N.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Chemical characterization of vermicompost of sewage sludge with different proportions of diatomaceous material. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 21, n. 8, p. 519-523, ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p519-523>.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 de ago. de 2006. Seção 1. p.141-146. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?ano=todos&codlegitipo=3>. Acesso em: 17 fev. 2020.

BRIDLE, T.R.; PRITCHARD, D. Energy and nutrient recovery from sewage sludge via pyrolysis. **Water Science And Technology**, [s.l.], v. 50, n. 9, p. 169-175, 1 nov. 2004. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2004.0562>.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 19, n. 4, p. 388-393, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p388-393>.

BRUCE, A.M.; DAVIS, R.D. Sewage sludge disposal: current and future options.: current and future options. **Water Pollution Research And Control Brighton**, [s.l.], p. 1113-1128, 1988. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-1-4832-8439-2.50110-3>.

SAITO, M. L. **O uso do LDE na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos.** 2007. Disponível em: <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMA/7108/1/documentos\\_64.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMA/7108/1/documentos_64.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2020

CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. M. Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 413-419, 30 set. 2015. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i3a5174>.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A. de; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, v.56, p.213-218, 2009.

CARNEIRO, W. J. de O.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 37, n. 3, p. 715-725, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000300018>.

CORREIA, J. E. Caracterização físico-química e microbiológica do lodo gerado na estação de tratamento de esgoto contorno. FEIRA DE SANTANA, BA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 1-3, 5 jan. 2015. Revista GESTA. <http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v2i2.12789>.

COSTA, E.M.; SILVA, H.F.; RIBEIRO, P.R.A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, vol. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto: II - Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 2, p. 653-662, abr. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000200020>.

COSTA, S. M. S. P. da. Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em “wetlands” construídos. Campinas, 2004. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, **Universidade Estadual de Campinas**.

CUSKE, M; KARCZEWSKA, A; GAŁKA, B. Speciation of Cu, Zn, and Pb in Soil Solutions Extracted from Strongly Polluted Soils Treated with Organic Materials. **Polish Journal of Environmental Studies**. 26, 3, 567-575, May 2017. ISSN: 12301485.

DARÉ, D. Estudo térmico, caracterização e análise de compostos orgânicos em amostras de iodo de esgoto das cidades de São Carlos - SP e Jaú - SP. 2013. 83 f. Dissertação (mestrado) - **Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**, Instituto de Química de Araraquara, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/97814>>.

DASKALOPOULOS, E.; BADR, O.; PROBERT, S. D. Economic and Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal **Solid Waste**. **Applied Energy**, [s.l.], v. 58, n. 4, p. 209-255, dez. 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0306-2619\(97\)00053-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0306-2619(97)00053-6).

DUARTE, F.V. Influência da aplicação de gás carbônico na redução de precipitação de carbonatos em sistema de irrigação localizada. 2010. 123f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – **Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte. 2010. <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8PRM8D>>. 22 Maio 2019

EPA. Environmental Protection Agency. **Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils**. Method 3051, 1994. 14p. <[http://cem.com/media/contenttype/media/literature/516\\_MetNote\\_DiscSPD\\_EPA\\_3051.pdf](http://cem.com/media/contenttype/media/literature/516_MetNote_DiscSPD_EPA_3051.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2020.

HOLLIGER, C.; GASPARD, S.; GLOD, G.; HEIJMAN, C.; SCHUMACHER, W.; SCHWARZENBACH, R. P.; VAZQUEZ, F. Contaminated environments in the subsurface and bioremediation: organic contaminants.: organic contaminants. **Fems Microbiology Reviews**, [s.l.], v. 20, n. 3-4, p. 517-523, jul. 1997. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6976.1997.tb00334.x>.

MELO, L. A. S.; LIGO M. A. V. Efeitos do LDE aplicado na cultura de bananeiras “grande naine”. Jaguariúna, SP: **Embrapa Meio Ambiente**, 2008. 5p. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado técnico 45).

MOHAMED, B.; MOUNIA, K.; AZIZ, A.; AHMED, H.; RACHID, B.; LOTFI, A. Sewage sludge used as organic manure in Moroccan sunflower culture: effects on certain soil properties, growth and yield components. : Effects on certain soil properties, growth and yield components. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 627, p. 681-688, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.258>.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 744p.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 28, n. 2, p. 385-392, abr. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832004000200017>.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; CRUZ, S. F. da; JUNIO, G. R. Z.; BARBOSA, C. F.; FERNANDES, L. A. Metais pesados em girassol adubado com lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 7, p. 694-699, jul. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662014000700004>.

OLIVEIRA, F. C.; MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agricola**, [s.l.], v. 52, n. 2, p. 360-367, ago. 1995. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90161995000200026>.

OLIVEIRA, E. S. A. de; CARDOSO, P. H. S.; SOUSA, I. de P.; ALVARENGA, A. C.; RODRIGUES, M. N.; SAMPAIO, R. A. Copper and zinc fractionation in biosolid cultivated with *Pennisetum purpureum* in different periods. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 22, n. 1, p. 3-9, jan. 2018

PEREIRA, N. G. F.; FRAZAO, L. A.; OLIVEIRA, A. L. G.; CARDOSO, P. H. S.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Efeitos da aplicação de LDE estabilizado por diferentes processos nos atributos químicos e microbiológicos de um cambissolo háplico. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, p. 115-127, 2015.

SAITO, M. L. **O uso do LDE na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos.** 2007. Disponível em: <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMA/7108/1/documentos\\_64.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMA/7108/1/documentos_64.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2018.

SANTOS, C. H.; GRASSI FILHO, H.; SANTOS, J. C.; PENTEADO, B. B. Fertilidade do solo e nutrição de tangerineiras 'Ponkan' manejados com resíduos sólidos e adubação química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 75-83, jan. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662011000100011>.

SILVA, F. C. da; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p.1-8, jan. 1998.

SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. **Functional Ecology**, [s.l.], v. 16, n. 3, p.326-331, jun. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00626.x>.

SOARES, E. M. B.; SILVA, C. A.; DIAS, B. de O.; BETTIOL, W.; BELIZÁRIO, M. H. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 43, n. 9, p. 1231-1240, set. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2008000900018>.

QUÉNO, L. R. M. Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia. 2009. XII, 64 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - **Universidade de Brasília**, Brasília, 2009.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Parâmetros qualitativos de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) estudados para a produção de energia através da biomassa. Seropédica/RJ: **Embrapa Agrobiologia**, 2004. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/32086/1/cit008.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2020.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p

VIEIRA, R. F.; TANAKA, R. Tetsuo; TSAI, S. M.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. M. M. de S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 40, n. 9, p. 919-926, set. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2005000900012>.

XUE, D.; HUANG, X. The impact of sewage sludge compost on tree peony growth and soil microbiological, and biochemical properties. **Chemosphere**, [s.l.], v. 93, n. 4, p. 583-589, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.05.065>.

YUAN, J.; CHADWICK, D.; ZHANG, D.; LI, G.; CHEN, S.; LUO, W.; DU, L.; HE, S.; PENG, S. Effects of aeration rate on maturity and gaseous emissions during sewage sludge composting. **Waste Management**, v. 56, p. 403-410, 2016.

WARMAN, P.R.; TERMEER, W. C. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: yields and n, p and k content of crops and soils: yields and N, P and K content of crops and soils. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 96, n. 8, p. 955-961, maio 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.08.003>.

ZHANG, X.; XIA, H.; Li, Z.; ZHUANG, P. Gao, B. Potencial of four forage grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils. **Bioresource Technology**, v.101, p.2063-2066, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.065>

ZUBA JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

[s.l.], v. 17, n. 7, p. 706-712, jul. 2013. FapUNIFESP (SciELO).  
<http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013000700003>.