

Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando *Eisenia fetida*

Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung using Eisenia fetida

Guilherme Malafaia¹, Caullius Ramos Jordão², Fernando Godinho de Araújo³, Wilson Mozena Leandro⁴, Aline Sueli de Lima Rodrigues⁵

RESUMO

O lodo gerado pela indústria curtumeira é um exemplo de resíduo que provoca graves problemas ambientais. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar a vermicompostagem de lodo de curtume, como método de reaproveitamento desse resíduo. Devido às características tóxicas do lodo de curtume, o mesmo foi misturado com esterco em várias proporções, em base seca. Durante 105 dias, a biomassa e a população das minhocas (*Eisenia fetida*) foram avaliadas, além do pH, umidade e temperatura das unidades experimentais estabelecidas. Os substratos foram quimicamente caracterizados no início e no final do processo de vermicompostagem. Nenhuma diferença significativa foi observada em pH nos grupos com menores concentrações de lodo, no entanto, houve uma diminuição significativa no pH nos grupos com maiores concentrações do resíduo durante a vermicompostagem. As concentrações de Mg, Fe, Mn e Zn foram elevadas na vermicompostagem em todos os tratamentos. A relação C/N foi reduzida em todos os tratamentos, indicando o amadurecimento do substrato final. Os resultados indicam que vermicompostagem promove a conversão do lodo em composto em um curto intervalo de tempo, o que constitui um processo biotecnológico de tratamento capaz de adicionar o valor agrônômico para este resíduo.

Palavras-chave: resíduo sólido; reciclagem; minhocas; alternativas sustentáveis.

ABSTRACT

Tannery industry-generated sludge is an example of residue that causes important environmental problems. In this sense, the objective of the present study was to evaluate vermicomposting of tannery sludge, as a method of treatment this waste. Due to the toxic characteristics of the tannery sludge, it was mixed with cattle dung in various proportions, on dry weight basis. During 105 days, biomass, number of individuals (*Eisenia fetida*), pH, moisture and temperature of the experimental units were assessed. The substrates were chemically characterized at the beginning and at the end of the vermicomposting process. No significant differences were observed in pH in groups with lower concentrations of sludge, there was a significant decrease in pH of the groups with higher concentrations of the residue during vermicomposting. Mg, Fe, Mn and Zn contents were high in the vermicompost in all treatments. The C/N ratio was low in the substrate of all treatments, indicating the maturation of the final substrate. The results indicate that vermicomposting promotes the conversion of sludge to manure in a short time interval, thus constituting a biotechnological process of treatment able to add agronomic value to this residue.

Keywords: solid waste; recycling; earthworms; sustainable alternatives.

INTRODUÇÃO

Os processos industriais e atividades humanas, em geral, têm por consequência a geração de resíduos específicos, os quais são constituídos pelas mais diversas substâncias e que, de acordo com a natureza das

mesmas, podem ser potencialmente prejudiciais ao ambiente e à saúde humana (KRAEMER, 2006). Conforme discutido por Silva, Souza e Leal (2012), em oposição às comodidades da sociedade moderna, os problemas causados por esses resíduos constituem uma série ameaça

¹Professor do Departamento de Ciências Biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) - Urutaí (GO). Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás - Goiânia (GO), Brasil.

²Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo IF Goiano - Urutaí (GO), Brasil.

³Professor do Departamento de Agronomia do IF Goiano. Doutor em Agronomia pelo IF Goiano - Urutaí (GO), Brasil.

⁴Professor do Departamento de Agricultura e do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG). Doutor em Produção Vegetal pela UFG - Goiânia (GO), Brasil.

⁵Professora do Departamento de Gestão Ambiental do IF Goiano. Doutora em Ciências Naturais pelo IF Goiano - Urutaí (GO), Brasil.

Endereço para correspondência: Guilherme Malafaia - Rodovia Geraldo Silva Nascimento, km 2,5 - Zona Rural - 75790-000 - Urutaí (GO), Brasil - E-mail: guilhermefgoiano@gmail.com

Recebido: 09/05/14 - **Aceito:** 17/03/15 - **Reg. ABES:** 134645

à qualidade de vida atual. Dentre os diversos tipos de resíduos gerados, citam-se aqueles produzidos por atividades agroindustriais, como o processamento de pele bovina.

Detentor de um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, o Brasil vem ocupando lugar de destaque na produção mundial de couros. Segundo Godecke, Rodrigues e Naime (2012), o país tem processado cerca de 42 milhões de peles por ano, das quais metade é exportada para a Itália, China e Hong Kong. O Estado de Goiás, em particular, está entre os dez maiores estados produtores de gado de corte do Brasil (SEGPLAN-GO, 2005), o que leva a uma grande oferta de matéria-prima (pele bovina) para a atividade curtumeira.

Embora essa atividade gere lucros significativos, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país, tem sido alvo de preocupações mais recentes, principalmente em função da grande produção de resíduos/efluentes observada ao longo do beneficiamento do couro bovino. Conforme discutido por Godecke, Rodrigues e Naime (2012), o processo de curtimento do couro requer diversos processos mecânicos e químicos de tratamento que, em condições de baixa eficiência, resultam em grande quantidade de resíduo/efluentes com altas concentrações de matéria orgânica e variados produtos químicos tóxicos. Essa problemática é intensificada, principalmente quando se constata que em muitas indústrias curtumeiras os resíduos/efluentes produzidos são descartados de forma incorreta ou acondicionados em depósitos ou aterros sanitários, que em função do acúmulo e da concentração de material potencialmente tóxico apresentam alto risco de contaminação ambiental (KONRAD & CASTILHOS, 2002; PACHECO, 2005; PINHEIRO, 2005; GODECKE; RODRIGUES. NAIME, 2012). Conforme destacado por Batista e Alovisei (2010), o lodo de curtume, mesmo após o tratamento recebido na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), contém consideráveis cargas orgânicas e inorgânicas, como ácidos, fenóis, sulfatos, sulfetos e, principalmente, elementos tóxicos como o cromo, o qual é utilizado durante o processo de curtimento.

Nesse sentido, a relevância econômica da indústria curtumeira, conjugada com seu potencial poluidor, vem estimulando, sobretudo, nas últimas décadas, a realização de pesquisas que resultem em maior conhecimento sobre possíveis alternativas de descartes ou de reaproveitamento. Uma dessas alternativas refere-se à vermicompostagem desses resíduos, realizada por uma simbiose entre minhocas e microrganismos que vivem em seu trato digestivo. Conforme apontado por Vig *et al.* (2011), tal processo vem sendo considerado uma opção potencial na hierarquia da gestão integrada de resíduos sólidos, principalmente porque, por meio deste, resíduos sólidos não aproveitados podem ser transformados em compostos orgânicos nobres.

O uso de lodo de curtume vermicompostado, em determinadas culturas, pode ser mais interessante do que o uso do lodo *in natura*, uma vez que a vermicompostagem proporciona maior troca de cátions, maior retenção de umidade e principalmente mineralização mais lenta

dos nutrientes (AQUINO; ALMEIDA; SILVA, 1992). Durante o processo de vermicompostagem, a decomposição controlada da fração orgânica contida no resíduo pode gerar um produto estável. Além disso, o vermicomposto resultante, apesar de ser bastante similar ao lodo *in natura*, em termos de material orgânico e nutrientes, possui quantidades menores de elementos tóxicos (ARAÚJO *et al.*, 2007). Segundo Kiehl (1998), o produto final do processo de vermicompostagem, pode ser considerado um material condicionador dos solos, pois melhora as propriedades físicas e químicas do mesmo.

Dentre os resíduos sólidos já usados na vermicompostagem, destacam-se aqueles provenientes da produção de papel (KAUR *et al.*, 2010); lodos de indústrias têxteis (GARG & KAUSHIK, 2005); resíduos de goma guar, tipo de fibra alimentar solúvel, extraída do vegetal *Cyamoposis tetragonolobus* (SUTHAR, 2009); lodos da indústria de açúcar (SEN & CHANDRA, 2007); da indústria de couro (RAVINDRAN *et al.*, 2008); de indústrias de bebidas (SINGH *et al.*, 2010) e o lodo de esgoto primário (HAIT & TARE, 2011; SILVA *et al.*, 2002).

Em relação à vermicompostagem de lodos de curtume, os poucos estudos publicados sobre o assunto (BIDONE, 1995; VIG *et al.*, 2011) são carentes de informações sobre a melhor proporção de material orgânico a ser misturado a esses resíduos para a produção de um composto de boa qualidade agrônômica. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a vermicompostagem do lodo de curtume co-disposto com esterco bovino, bem como as características do substrato produzido.

MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo conduziu-se experimento com Oligoquetas - Lumbricidae, da espécie *Eisenia fetida* (minhocas vermelhas da Califórnia) obtidas do minhocário do Departamento de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) – Câmpus Urutaí (GO). Tal espécie foi escolhida propositalmente por apresentar habilidade em converter resíduos orgânicos pouco decompostos em material estabilizado, extraordinária proliferação e rápido crescimento (HARTENSTEIN; NEUHAUSER; KAPLAN, 1979; NEUHAUSER; HARTENSTEIN; KAPLA, 1990; AQUINO; ALMEIDA; SILVA, 1992; SCHULDT; RUMI; GUTIÉRREZ GREGORIC, 2005; KHWAIRAKPAM & BHARGAVA, 2009), além de possuir ampla faixa de tolerância a temperatura e umidade, assim como resistência ao manuseio (EDWARDS, 1998).

O lodo de curtume utilizado no experimento foi fornecido pela Indústria de Couros Curtume Sulino, localizada na cidade de Pires do Rio (GO) e refere-se àquele originado da etapa de depilação da pele bovina, conhecido como lodo de caleiro. O substrato orgânico misturado ao lodo de curtume foi o esterco bovino. A Tabela 1 apresenta a caracterização química inicial do lodo de curtume e do esterco bovino.

Para viabilizar o processo de vermicompostagem, procedeu-se a secagem do lodo de curtume antes da mistura deste com o esterco bovino curtido e seco. Para isso, o lodo foi colocado sobre lonas plásticas em camadas de aproximadamente 5 cm e o processo de secagem ocorreu de forma natural por um período de 30 dias. O lodo seco foi misturado com esterco bovino e passados em peneira de 8 mm, visando maior uniformização do tamanho das partículas e eliminação de materiais indesejáveis ao bom desempenho do processo de vermicompostagem. O arranjo dos tratamentos consistiu de seis unidades experimentais, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Salienta-se que as unidades experimentais foram montadas em vasos plásticos com capacidade de 3 L e nestes foram adicionados 1 kg de substrato (em base seca) correspondente às proporções apresentadas na Tabela 2.

Após o estabelecimento das unidades experimentais, as misturas foram reviradas manualmente, a cada 24 h, durante 20 dias, a fim de eliminar possíveis gases tóxicos voláteis. Em seguida, os vasos receberam *E. fetida* com inserção de 20 indivíduos na fase adulta, por vaso. Vale destacar que todos os vasos foram tampados com material de sombreamento (tela plástica conhecida comercialmente como Sombrit) para dificultar a possível fuga e predação das minhocas, ao mesmo tempo em que permitiu a aeração do substrato. O substrato foi umedecido com água de modo a manter a umidade entre 30 e 40%, conforme metodologia adotada por Dorez-Silva, Landgraf e Rezende (2011).

Quinzenalmente, até o 105º dia experimental, foi determinada a biomassa e a densidade populacional das minhocas (adultas e jovens, não havendo diferenciação), considerando tais parâmetros como indicadores do processo de vermicompostagem. Após o esvaziamento de cada vaso, em local limpo e asséptico, a densidade populacional das minhocas foi calculada por meio de contagem manual. Já a biomassa foi identificada pesando-se todos os indivíduos registrados na densidade populacional, para cada tratamento. Finalizada a avaliação, as minhocas eram colocadas cuidadosamente de volta em seus respectivos vasos. A cada 15 dias, também foram avaliados as variáveis pH (CaCl_2), umidade (por meio de secagem em estufa) e temperatura (termômetro infravermelho).

Em relação às análises químicas dos substratos, separou-se uma amostra de cada uma das unidades experimentais, as quais foram levadas ao laboratório para análise de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu, Mn), carbono orgânico total (TOC) e relação C/N. Tais amostras foram separadas antes da introdução das minhocas e ao final do período experimental (105º dia). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do IF Goiano – Câmpus Urutaí, de acordo com protocolo adaptado de Tedesco *et al.* (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as comparações entre as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, com o auxílio do pacote computacional SISVAR (FERREIRA, 2011). Quando detectadas diferenças significativas entre

as doses de lodo de curtume realizou-se análise de regressão empregando o SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferentes doses de lodo de curtume empregadas na vermicompostagem influenciaram a densidade populacional e a biomassa das minhocas. A densidade de minhocas sofreu um decréscimo linear com o aumento das doses de lodo (Figura 1A). No entanto, a biomassa teve um comportamento quadrático, aumentando até a dose de 25% de lodo e posteriormente decrescendo com o aumento das doses (Figura 1B).

No tratamento T100, todas as minhocas morreram nas primeiras 24 horas após a introdução nos vasos. Neste caso, assim como nos tratamentos com doses mais elevadas de lodo de curtume (T50 e T75), acredita-se que a morte das minhocas esteja relacionada a condições de toxicidade elevada nos substratos, como também observado em estudo similar desenvolvido por Vig *et al.* (2011). A concentração elevada de nutrientes no tratamento T100, como aqueles advindos de compostos alcalinos encontrados em excesso nos lodos de curtume, pode ter comprometido o crescimento, reprodução e sobrevivência das minhocas.

Em relação à variação da densidade populacional ao longo do período de vermicompostagem, observou-se aos 90 dias uma diminuição

Tabela 1 – Caracterização química inicial dos substratos utilizados na vermicompostagem.

Variáveis	Esterco bovino	Lodo de curtume
pH (CaCl_2)	7,20	8,90
N (g.dm^{-3})	11,90	8,52
P (g.dm^{-3})	30,60	10,99
K (g.dm^{-3})	79,50	72,00
Na (g.dm^{-3})	2,53	13,38
Ca (g.dm^{-3})	12,11	80,86
Mg (g.dm^{-3})	7,73	4,00
Cu (g.dm^{-3})	0,10	1,10
Fe (g.dm^{-3})	52,55	4,83
Mn (g.dm^{-3})	1,24	0,01
Cr (ppm)	0,00	12,01
Zn (g.dm^{-3})	0,85	0,11
C/N	44,98	62,54

*Os valores expressos representam à média de cinco amostras de cada substrato

Tabela 2 – Proporções das misturas de lodo de curtume e esterco bovino adotadas no estudo.

Tratamentos	Proporções (%)	
	Lodo de curtume	Esterco bovino
T0	0	100
T10	10	90
T25	25	75
T50	50	50
T75	75	25
T100	100	0

significativa ($p < 0,05$) nos tratamentos T0, T10 e T25 (Figura 2A), semelhantemente ao observado para a variável biomassa (Figura 2B).

Resultados semelhantes foram observados por Kaushik e Garg (2003), Kaur et al. (2010) e Vig et al. (2011), durante a vermicompostagem de lodos de indústria têxtil, de resíduos provenientes da produção de papel e lodos de curtume, respectivamente. Nestes trabalhos e no presente estudo, observou-se um aumento crescente da densidade populacional e biomassa das minhocas até o 90º dia experimental, diminuindo significativamente a partir dessa avaliação. Acredita-se que essa diminuição esteja diretamente relacionada ao esgotamento de material alimentício disponível para as minhocas.

Quanto ao pH dos substratos produzidos observou-se diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$). Houve um aumento linear do pH em função do aumento das doses de lodo misturadas ao esterco bovino (Figura 3). Esses resultados podem ser explicados pela própria natureza alcalina dos lodos de curtume, uma vez que, na etapa de depilação e caleiro substâncias alcalinas como a cal hidratada e o sulfeto de sódio são adicionadas às peles bovinas (CLASS & MAIA, 1994; BARROS et al., 2001).

Para os tratamentos T0, T10 e T25 não foi observada diferenças significativas entre os valores de pH iniciais e finais; porém, para os

tratamentos T50 e T75 observou-se que o processo de vermicompostagem diminuiu significativamente os valores de pH do substrato (Tabela 3). Dados da literatura apontam para resultados divergentes em relação aos efeitos da vermicompostagem de resíduos por *E. fetida* sobre o pH dos substratos. Enquanto Datar, Rao e Reddy (1997) e Vig et al. (2011), por exemplo, relatam aumentos no pH durante a vermicompostagem de lodo de curtume, possivelmente devido à dissolução em água da amônia oriunda do metabolismo microbológico, Albanell, Plaixats e Cabrero (1988) atribuem a diminuição de pH à produção de CO_2 e de ácidos orgânicos durante o metabolismo dos microrganismos presentes no processo de vermicompostagem. Acredita-se que este último fenômeno possa ter ocorrido nos tratamentos T50 e T75, ainda que a densidade populacional de minhocas nesses grupos tenha sido inferior aos demais.

Em relação à temperatura e ao teor de umidade, não houve variação entre os tratamentos estabelecidos. Enquanto a umidade manteve-se entre 30 e 40%, a temperatura dos substratos variou de 24 a 28°C. Esses resultados demonstram que a adição de lodo de curtume não alteram a temperatura e a umidade durante o processo de vermicompostagem.

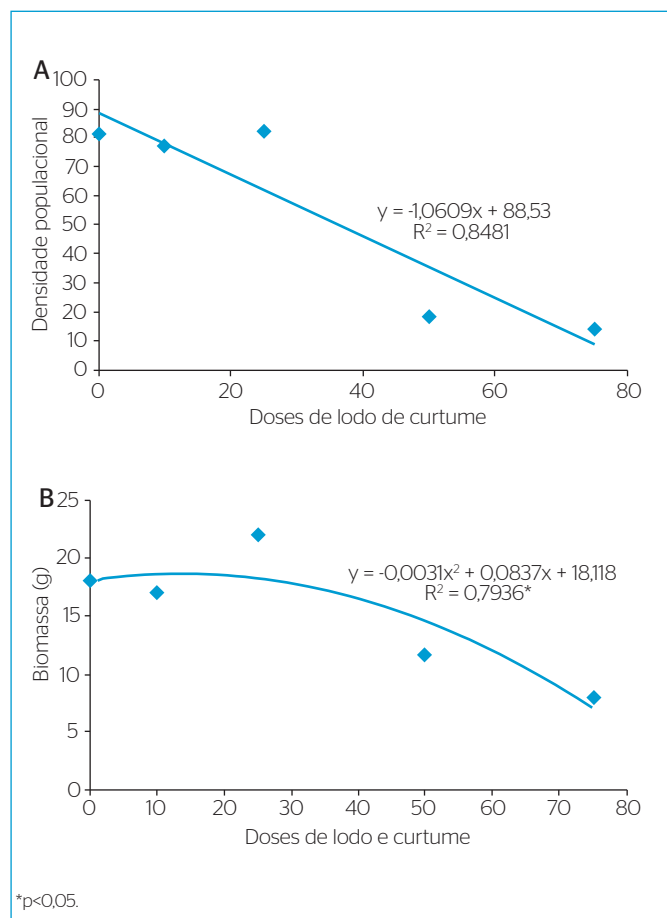


Figura 1 - Densidade populacional (A) e biomassa (g) (B) de *Eisenia fetida* em função das proporções de lodo de curtume nos substratos usados no processo de vermicompostagem

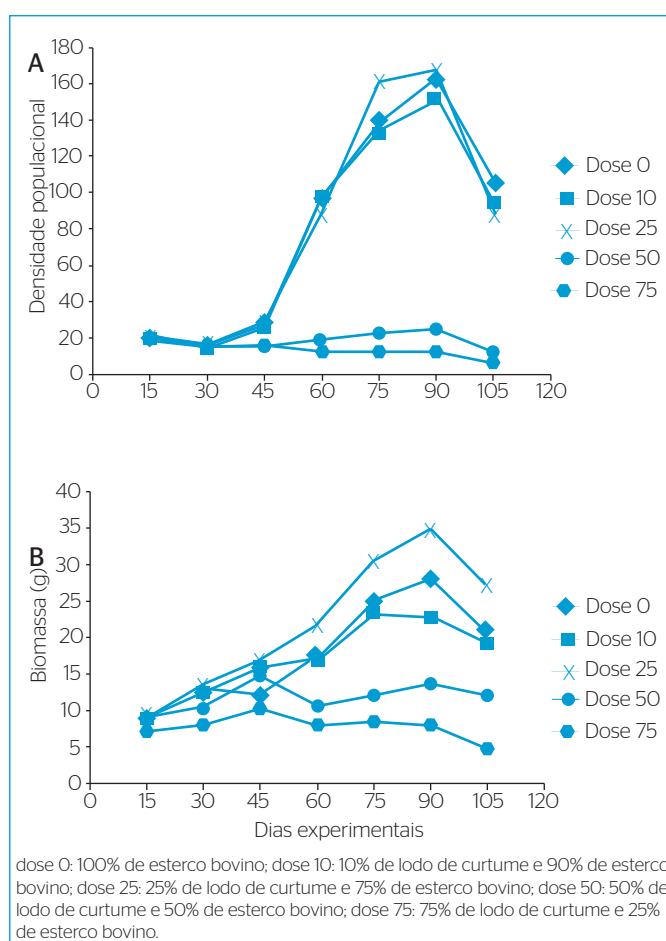


Figura 2 - Densidade populacional (A) e biomassa (B) de *Eisenia fetida* ao longo do processo de vermicompostagem.

Quanto à avaliação da concentração de nutrientes nos vermicompostos produzidos, as doses de lodo adicionados ao esterco bovino influenciaram nas concentrações dos elementos Ca, Fe, Na, Mg, P, K, Mn e Zn ($p < 0,01$). Aumentos lineares de Na e Ca foram observados na medida em que as doses de lodo de curtume misturadas ao esterco bovino foram incrementadas (Figura 4A e 4B), o que pode ser explicado pelas elevadas concentrações de sulfeto de sódio e cal hidratada usadas, respectivamente, para dissolver os pêlos e provocar o intumescimento das peles. Aumentos nas concentrações desses elementos também foram observados ao final do experimento (Tabela 3) em quase todos os tratamentos, devido provavelmente à diminuição do volume do substrato em função da vermicompostagem e da capacidade das minhocas em acelerarem a mineralização da matéria orgânica (AQUINO; ALMEIDA; SILVA, 1992).

Por outro lado, foi observada diminuição linear dos nutrientes K e P na medida em que as doses de lodo de curtume foram incrementadas (Figura 4C). Em quase todos os grupos experimentais observou-se uma diminuição significativa desses nutrientes ao final do experimento, com exceção dos teores de K nos grupos T50 e T75 (Tabela 1). Em relação ao K, este encontra-se no substrato adsorvido eletrostaticamente à matéria orgânica e inorgânica ou como constituinte dos resíduos orgânicos e dos microrganismos vivos (VERAS & POVINELLI, 2004).

Assim, pode-se admitir que suas concentrações nos grupos T50 e T75 estejam relacionadas à baixa degradabilidade dos resíduos orgânicos do lodo de curtume, coincidentes com a menor biomassa e densidade populacional de *E. fetida* identificadas nestes grupos. Já quanto à diminuição de P ao longo da vermicompostagem, esta se relaciona à imobilização do referido nutriente pelas minhocas durante seu metabolismo,

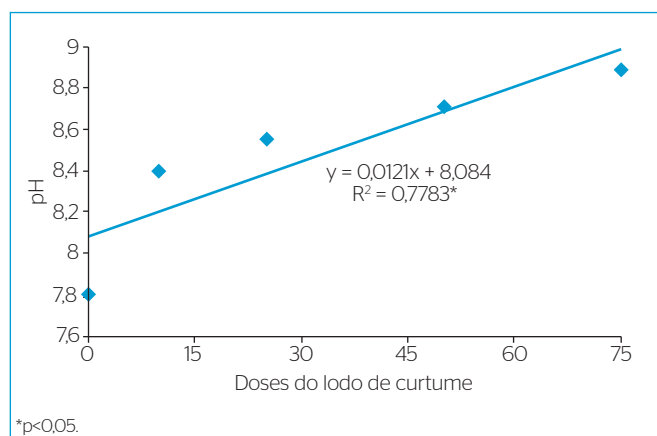


Figura 3 - Valores de pH dos substratos produzidos em função das proporções de lodo de curtume nos substratos usados no processo de vermicompostagem.

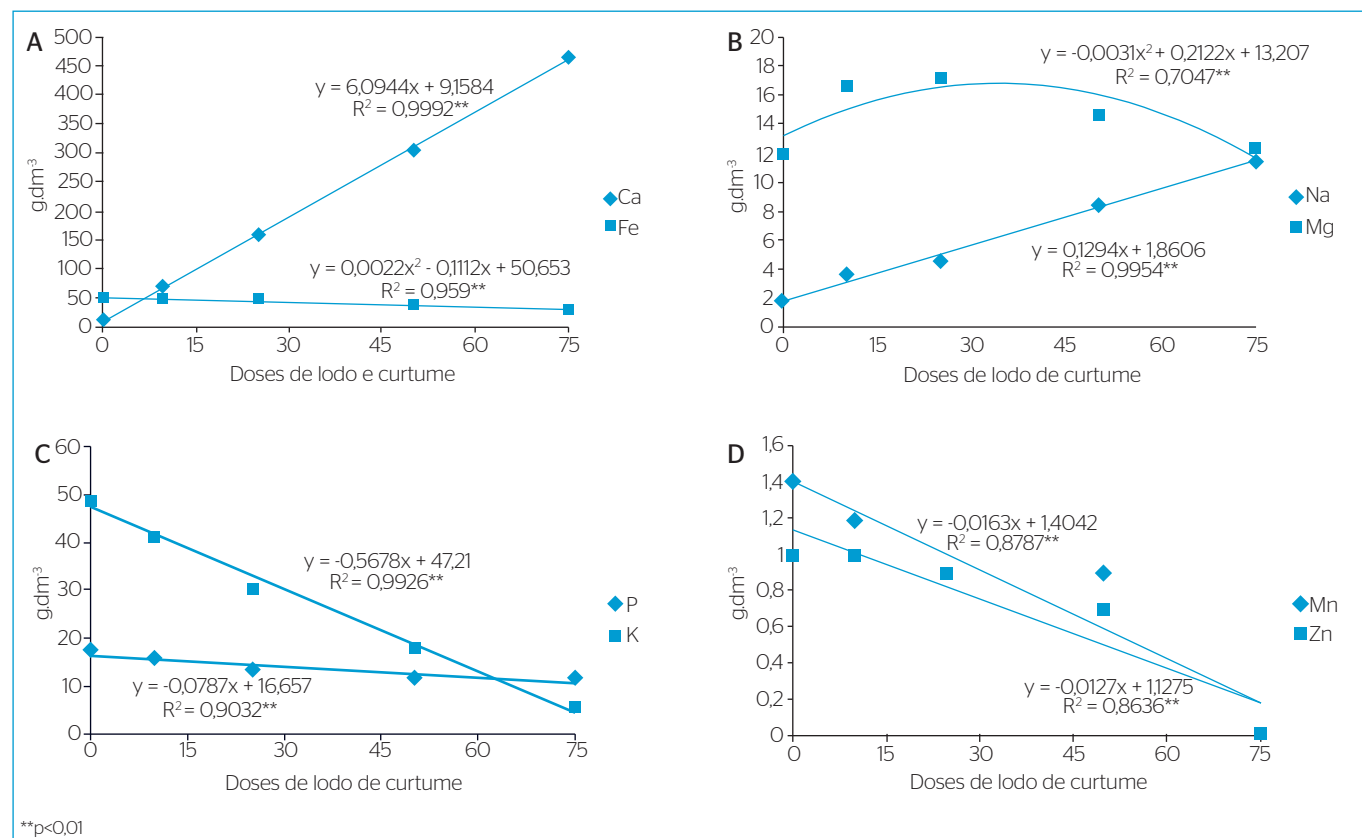


Figura 4 - Concentrações de elementos químicos presentes nos vermicompostos produzidos em função das doses de lodo de curtume nos substratos usados no processo de vermicompostagem. (A) Cálcio e ferro; (B) Sódio e magnésio; (C) Fósforo e potássio e (D) manganês e zinco.

conforme sugerido por outros estudos (VERAS & POVINELLI, 2004; SINGH *et al.*, 2010; VIG *et al.*, 2011).

O Mg apresentou comportamento quadrático em função das doses de lodo utilizadas (Figura 4B). O teor de Mg no substrato aumentou até a concentração de 25% de lodo. Para todos os tratamentos, observou uma diferença estatisticamente significativa entre a concentração inicial e final do Mg nos substratos, tendo havido um acréscimo deste nutriente ao final do experimento (Tabela 3). Resultados similares foram observados por Veras e Povinelli (2004), Suthar (2009) e Carvalho *et al.* (2009), ao estudarem vermicompostagem do lodo de esgoto consorciado com resíduo sólido urbano, de lodo de esgoto com palhada e de resíduos vegetais, respectivamente. Segundo Carvalho *et al.* (2009), o Mg também é convertido da forma orgânica imobilizada, para formas inorgânicas, por ações dos microrganismos e enzimas presentes no intestino das minhocas. Assim, o aumento do Mg na vermicompostagem era esperado.

Para os elementos Fe, Mn e Zn, foi observada uma diminuição linear à medida que as doses de lodo de curtume foram aumentadas no substrato (Figuras 4A e 4D). Em relação aos teores destes elementos ao final do experimento, verificou-se um aumento significativo em todos os tratamentos (Tabela 3), corroborando outros estudos similares sobre vermicompostagem de resíduos sólidos (KAUSHIK & GARG, 2004; SUTHAR, 2009; VIG *et al.*, 2011; GARG & GUPTA, 2011). Conforme sugerido por Deolalikar *et al.* (2005), o aumento do teor desses metais pode estar relacionado a uma diminuição do volume/peso do produto final e também à capacidade das minhocas em concentrar nutrientes no vermicomposto (SILVA *et al.*, 2002).

Em relação ao N e ao Cu, não foram observadas diferenças significativas entre os teores no início e ao final do experimento (Tabela 3) e quando comparadas às diferentes doses de lodo de curtume. Por outro lado, os teores de TOC diminuíram ao final do experimento em todos os tratamentos (Tabela 3), indicando a estabilização da matéria orgânica no substrato devido à ação combinada das minhocas e de microrganismos. Tem sido relatado que as minhocas modificam o substrato, aumentando as perdas de carbono por meio da respiração microbiana na forma de CO₂ (TRIPATHI & BHARDWAJ, 2004; AIRA; MONROY; DOMINGUEZ, 2007; TOGNETTI; MAZZARINO; LAOS, 2007, HAIT & TARE, 2011; VIG *et al.*, 2011).

Quanto à relação C/N, não foram observadas diferenças significativas em relação às doses de lodo misturadas ao esterco bovino. Contudo, foi observada uma diminuição acentuada da relação C/N ao final do experimento em todos os tratamentos (Tabela 3), indicando a maturação do substrato final. Tal diminuição pode ser atribuída à perda de carbono por meio da respiração microbiana e adição simultânea de azoto pelas minhocas em forma de muco, conforme sugerido em outros estudos (ATIYEH *et al.*, 2002; SUTHAR, 2009; VIG *et al.*, 2011).

Outro aspecto importante a ser considerado refere-se às especificações contidas na Instrução Normativa nº 025/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil. Tal instrução aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Segundo o MAPA, vermicompostos são considerados fertilizantes orgânicos

Tabela 3 - Caracterização química do lodo de curtume codisposto com esterco bovino no início e ao final do processo de vermicompostagem.

Variáveis	Tratamentos									
	T0		T10		T25		T50		T75	
	Inicial Média±DP	Final Média±DP	Inicial Média±DP	Final Média±DP	Inicial Média±DP	Final Média±DP	Inicial Média±DP	Final Média±DP	Inicial Média±DP	Final Média±DP
pH	7,50±0,04a	7,20±0,50a	8,20±0,08a	8,10±0,15a	8,60±0,12a	8,50±0,05a	9,30±0,11a	8,20±0,01b	10,20±0,20a	9,10±0,01b
N (g.dm ⁻³)	11,90±0,44a	11,53±1,31a	11,65±0,09a	11,15±1,44a	12,53±0,71a	12,05±1,11a	14,91±0,97a	13,61±1,20a	10,28±0,35a	10,51±0,41a
P (g.dm ⁻³)	30,60±1,21a	7,57±0,74b	22,92±0,37a	7,43±0,91b	25,38±0,66a	6,80±0,70b	11,58±2,38a	7,23±0,79b	17,46±2,04a	6,31±0,54b
K (g.dm ⁻³)	79,59±1,07a	28,26±4,58b	58,92±3,67a	21,05±2,13b	58,82±2,20a	20,55±0,85b	14,32±4,84a	10,59±1,53a	3,88±0,51b	6,12±0,80a
Na (g.dm ⁻³)	2,53±0,22a	1,49±0,46a	3,32±0,45a	3,53±0,55a	5,67±0,15a	4,67±0,26a	3,47±1,17b	10,65±1,16a	8,92±1,50b	12,63±1,12a
Ca (g.dm ⁻³)	12,18±0,10a	12,33±5,35a	31,26±1,43b	103,76±10,72a	54,95±0,89b	283,20±39,02a	31,73±11,11b	504,70±72,66a	85,72±4,51b	796,73±81,45a
Mg (g.dm ⁻³)	7,73±0,03b	13,65±4,22a	6,24±0,21b	25,52±2,43a	7,48±0,17b	28,61±3,20a	2,88±1,06b	22,85±3,20a	5,05±0,13b	17,69±2,04a
Fe (g.dm ⁻³)	52,55±0,78b	65,71±3,67a	36,89±0,01b	54,74±4,02a	48,99±0,24b	58,54±8,95a	20,27±8,57b	47,24±3,35a	18,92±8,50b	37,35±2,42a
Mn (g.dm ⁻³)	1,24±0,15b	1,70±0,38a	1,08±0,01b	1,47±0,38a	0,96±0,15b	1,24±0,14a	0,22±0,07b	1,31±0,28a	0,07±0,03b	0,31±0,04a
Zn (g.dm ⁻³)	0,85±0,10b	1,28±0,13a	0,69±0,04b	1,01±0,08a	0,70±0,08b	0,85±0,03a	0,28±0,10b	0,99±0,07a	0,21±0,02b	0,49±0,02a
TOC (g.dm ⁻³)	49,05±0,04	37,50±5,68	43,25±0,18	38,50±1,60	50,20±2,26	41,00±2,53	46,70±1,27	35,00±3,33	49,05±2,09	37,50±1,41
C/N	41,21±1,20a	32,52±2,31b	37,12±0,24a	34,52±1,22b	40,06±3,21a	34,02±1,99b	31,32±1,45a	25,71±3,47b	47,71±1,89a	35,68±1,70b

*Médias±desvio padrão, na linha, seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste *t* de Student ($p < 0,05$); DP: desvio padrão

compostos, resultantes da digestão da matéria orgânica proveniente de esterco, restos vegetais e outros resíduos orgânicos, pelas minhocas. Seguindo-se tal definição, o vermicomposto produzido a partir de lodo de curtume seria um fertilizante orgânico composto classe D.

Nesse sentido, apesar da referida instrução normativa não apresentar valores de referência para concentrações de metais e/ou nutrientes que devam ser encontradas nos vermicompostos, observa-se que os valores de pH, N e TOC, em todos os tratamentos, atendem aos limites mínimos estabelecidos, os quais são 6; 0,5; e 10%, respectivamente. Porém, os valores da relação C/N encontrados nos tratamentos do presente estudo, após a vermicompostagem, encontram-se elevados quando comparados ao limite máximo estabelecido na referida instrução ($C/N_{\text{máx}}=14$), fato este que deve ser melhor estudado em trabalhos futuros. Por outro lado, quanto ao limite máximo para a concentração de Cr (contaminante inorgânico) estabelecido pela resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), observou-se que a média dos valores do elemento no lodo de curtume *in natura*, usado na vermicompostagem, não ultrapassou 12,01 ppm, enquadrando-se no limite máximo permitido que é de 1.000 ppm.

CONCLUSÕES

Em face do exposto conclui-se que:

- A vermicompostagem de lodo de curtume sem a adição de esterco bovino mostrou-se inviável, devido provavelmente à toxicidade elevada às minhocas;
- Em geral, os vermicompostos produzidos de *E. fetida* apresentaram teores de Ca e Mg que favorecem o seu uso como condicionadores do solo;
- A diminuição significativa da relação C/N e a diminuição do TOC observadas ao final da vermicompostagem indicam a bioestabilização dos resíduos sólidos orgânicos, sinalizando a possibilidade de uso do vermicomposto como composto orgânico na agricultura e fornecendo uma destinação ambientalmente adequada ao lodo de curtume.
- Por fim, conclui-se que a vermicompostagem pode ser introduzida como biotecnologia capaz de agregar valor agrônomo a lodos de curtume codipostos com esterco bovino, sobretudo em doses menores (em torno de 25% de lodo). No entanto, estudos futuros devem ser conduzidos com vistas à adequar a relação C/N do produto formado às especificações técnicas das instruções normativas do MAPA.

REFERÊNCIAS

- AIRA, M.; MONROY, F.; DOMINGUEZ, J. (2007) Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Science Total Environmental*, v. 385, n. 1-3, p. 252-261.
- ALBANELL, E.; PLAIXATS, J.; CABRERO, T. (1988) Chemical changes during vermicomposting (*Ensenia fetida*) of sheep manure mixed cotton industrial wastes. *Biology and Fertility of Soils*, v. 6, i. 3, p. 266-269.
- AQUINO, A.M.; ALMEIDA, D.L.; SILVA, V.F. (1992) *Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem*. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 13 p.
- ARAÚJO, A.S.F.; CARVALHO, A.J.S.; CARVALHO, E.M.S.; SANTOS, V.B. (2006) Growth and nodulation of leucaena and prosopis seedlings in soil plus tannery sludge. *Revista Caatinga*, v. 19, n. 1, p. 20-24.
- ATIYEH, R.M.; LEE, S.; EDWARDS, C.A.; ARANCON, N.Q.; METZGER, J.D. (2002) The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, v. 84, n. 1, p. 7-14.
- BARROS, M.A.S.D.; ARROYO, P.A.; SOUSA-AGUIAR, E.F.; SEGARRA, V. (2001) O processamento de peles. In: BARROS, M.A.S.D.; ARROYO, P.A.; SOUSA-AGUIAR, E.F.; GARCIA, P.A. (Ed.). *Problemas ambientais com soluções catalíticas: I o cromo no processamento de peles*. Madrid: Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo, p. 37-63.
- BATISTA, M.M. & ALOVISI, A.M.T. (2010) Alterações de atributos químicos do solo e rendimento da cana-soca pela utilização de lodo de curtume. *Anuário da Produção de Iniciação Científica Discente*, v. 13, n. 17, p. 387-396.
- BIDONE, F.R.A. (1995) A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume, brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo orgânico urbano como substrato. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CARVALHO, N.L.C.; BRUM, T.S.; COTTA, J.A.O.; LIMA, E.N. (2009) Utilização de diferentes resíduos no processo de vermicompostagem e estudo da humificação. In: Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. *Anais...* Vitória-ES, Brasil.
- CLAAS, I.C. & MAIA, R.A.M. (1994) *Manual básico de resíduos industriais de curtume*. Porto Alegre: SENAI Rio Grande do Sul. 664 p.
- DATAR, M.T.; RAO, M.N.; REDDY, S. (1997) Vermicomposting - A technological option for solid waste management. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, v. 24, n. 2, p. 89-93.
- DEOLALIKAR, A.V.; MITRA, A.; BHATTACHARYEE, S.; CHAKRABORTY, S. (2005) Effect of vermicomposting process on metal content of paper mill solidwast. *Journal of Environmental Science and Engineering*, v. 47, n. 2, p. 81-84.

- DORES-SILVA, P.R.; LANDGRAF, M.D.; REZENDE, M.O. (2011) Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. *Química Nova*, v. 34, n. 6, p. 956-961.
- EDWARDS, C.A. (1998) *Eartworm Ecology*. 2. ed. New York: Academic Publishing, 388 p
- ELVIRA, C.; SAMPEDRO, L.; BENITEZ, E.; NOGALES, R. (1998) Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: a pilot scale study. *Bioresource Technology*, v. 63, n. 3, p. 205-211.
- FERREIRA, D.F. (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, v. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GARG, V. K. & KAUSHIK, P. (2005) Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, v. 96, n. 9, p. 1189-1193.
- GARG, V.K. & GUPTA, R. (2011) Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 74, n. 1, p. 19-24.
- GODECKE, M.V.; RODRIGUES, M.A.S.; NAIME, R.H. (2012) Resíduos de curtume: estudo das tendências de pesquisa. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia*, v. 7, n. 7, p. 1357-1378.
- HAIT, S. & TARE, V. (2011) Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bioresource Technology*, v. 102, n. 3, p. 2812-2820.
- HARTENSTEIN, R.; NEUHAUSER, E.F.; KAPLAN, D.L. (1979) Reproductive potential of the earthworm *Eisenia foetida*. *Oecologia*, v. 43, n. 3, p. 329-340.
- KAUR, A.; SINGH, J.; VIG, A.P.; DHALIWAL, S.S.; RUP, P.J. (2010) Composting with and without *Eisenia fetida* for conversion of toxic paper mill sludge into soil conditioner. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 21, p. 8192-8198.
- KAUSHIK, P & GARG, V.K. (2003) Vermicomposting of mixed solid textile mill sludge and cow dung with the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, v. 90, n. 3, p. 311-316.
- KHWAIRAKPAM, M. & BHARGAVA, R. (2009) Bioconversion of filter mud using vermicomposting employing two exotic and one local earthworm species. *Bioresource Technology*, v.100, n. 23, p. 5846-5852.
- KIEHL, E.J. (1998) Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: O Autor, 171 p.
- KONRAD, E.E. & CASTILHOS, D.D. (2002) Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 1, p. 257-265.
- KRAEMER, M.E.P. (2006) Resíduos industriais e a questão ambiental associada à contabilidade aplicada ao ambiente natural. *Revista Técnica do Conselho Regional de Contabilidade do Rio Grande do Sul*, v. 7, n. 30, p. 6-17.
- NEUHAUSER, E.F.; HARTENSTEIN, R.; KAPLA, D.L. (1980) Growth of earthworm *Eisenia foetida* in relation to population density and food rationing. *Oikos*, v. 35, n. 1, p. 93-98.
- PACHECO, J.W.F. (2005) Curtumes: Série P+L. 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 5 jan. 2013.
- PINHEIRO, F.G.R. (2005) Avaliação do Potencial Poluidor de curtumes do Distrito Industrial de Icoaraci e influência sobre os recursos hídricos locais. 2005. 140f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará, Belém.
- RAVINDRAN, B.; DINESH, S.L.; KENNEDY, L. J.; SEKARAN, G. (2008) Vermicomposting of solid waste generated from leather industries using epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 151, n. 2-3, p. 480-488.
- SCHULDT, M.; RUMI, A.; GUTIÉRREZ GREGORIC, D.E. (2005) Determinación de "edades" (clases) en poblaciones de *Eisenia foetida* (Annelida: Lumbricidae) y sus implicancias reprobológicas. *Revista del Museo de La Plata (Sección zoológica)*, v. 17, n. 170, p. 1-10.
- SECRETARIA DE ESTADO DE GESTÃO E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE GOIÁS - SEGPLAN. Programa Fomentar/Produzir: Informações e Análises para o Estado e Microrregiões de Goiás. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sep/estudos.asp>>. Acesso em: 02 abr. 2013.
- SEN, B. & CHANDRA, T.S. (2007) Chemolytic and solid-state spectroscopic evaluation of organic matter transformation during vermicomposting of sugar industry wastes. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 8, p. 1680-1683.
- SILVA, A.S.S.; SOUZA, J.G.; LEAL, A.C. (2012) Qualidade de vida e meio ambiente: experiência de consolidação de indicadores de sustentabilidade em espaço urbano. *Sustentabilidade Debate*, v. 3, n. 2, p. 177-196.
- SILVA, C.D.; COSTA, L.M.; MATOS, A.T.; CECON, P.R.; SILVA, D.D. (2002) Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana de açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 3, p. 487-491.
- SINGH, J.; KAUR, A.; VIG, A.P.; RUP, P.J. (2010) Role of *Eisenia foetida* in rapid recycling of nutrients from bio sludge of beverage industry. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 73, n. 3, p. 430-435.
- SUTHAR, S. (2009) Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic *Eisenia foetida* (*Oligochaeta*). *Journal of Hazardous Materials*, v. 163, n. 1, p. 199-206.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. (1995) Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p.
- TOGNETTI, C.; MAZZARINO, M.J.; LAOS, F. (2007) Improving the quality of municipal organic waste compost. *Bioresource Technology*, v. 98, n.5, p. 1067-1076
- TRIPATHI, G.; BHARDWAJ, P. (2004) Earthworm diversity and habitat preference in arid regions of Rajasthan, India. *Zoos Print Journal*, v. 19, n. 7, p. 1515-1519.
- VERAS, L.R.V. & POVINELLI, J. (2004) A Vermicompostagem do Lodo de Lagoas de Tratamento de Efluentes Industriais Consorciada com Composto de Lixo Urbano. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 218-224.
- VIG, A.P.; SINGH, J.; WANI, S.H.; DHALIWAL, S.S. (2011) Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia foetida* (Savigny). *Bioresource Technology*, v. 102, n. 17, p. 7941-7945.