



Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final

**Karina Heck¹, Évilin G. De Marco¹, Ana B. B. Hahn¹,
Mariana Kluge², Fernando R. Spilki² & Sueli T. Van Der Sand¹**

RESUMO

A técnica da compostagem é um recurso empregado com o objetivo de reciclar resíduos orgânicos domésticos e sanitizar o lodo produzido nas estações de tratamento de efluentes de esgoto (ETE) podendo-se obter um composto com propriedades de fertilizante agrícola e/ou corretor de solos degradados. A alta temperatura atingida pelo sistema deve ser responsável pela redução de micro-organismos patogênicos presentes no início do processo assegurando, desta forma, a qualidade microbiológica do composto sem oferecer riscos de contaminação, conforme preconiza a Resolução 354/2006 do CONAMA. Objetivou-se, com o trabalho, avaliar a influência da temperatura sobre a redução de *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., ovos de helmintos e vírus entéricos durante o processo de compostagem, além da contagem de bactérias heterotróficas. Foram realizados testes colimétricos, semeaduras em meios de cultivo, testes de visualização de ovos de helmintos e detecção molecular de vírus entéricos. Os resultados indicaram oscilação nas contagens de *E. coli* e de bactérias heterotróficas, mesmo após a fase termofílica. Por outro lado, não foi detectada a presença de *Salmonella* sp., vírus entéricos nem de ovos viáveis de helmintos, ao final do processo.

Palavras-chave: lodo de esgoto, coliformes, matéria orgânica

Evaluation of degradation temperature of compounds in a composting process and microbiological quality of the compost

ABSTRACT

The composting technique is a promising alternative for the treatment of solid organic residues, along with the sludge produced in sewage treatment plants. The final compost might show fertilizer properties, which can be used to recover poor soils. The high temperatures that the composting process can achieve are responsible for the reduction of the pathogenic microbial population, helminth eggs and virus present in the beginning of the process. This behavior assures the microbial quality of the compost according to the 375/2006 Resolution of the CONAMA. The aim of this study was to evaluate the influence of temperature on *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., helminth egg and enteric virus presence in the final product from a composting process. For this matter colimetric assays were performed together with the seedling of the samples in different culture media, the assay for helminth eggs visualization under the microscope and the identification of enteric virus. The results showed an oscillation on *E. coli* and heterotrophic bacteria counts, even after the thermophilic phase. On the other hand, *Salmonella* sp., helminth eggs and enteric virus were not found in the final compost.

Key words: sewage sludge, coliforms, organic matter

¹ Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia/ UFRGS, R. Sarmento Leite, 500, CEP 90040-060, Porto Alegre, RS. E-mail: kheck_bio@hotmail.com; evagiordana@gmail.com; bibahahn@yahoo.com.br; svands@ufrgs.br

² Laboratório de Microbiologia Molecular/Universidade Feevale, ERS 239, 2755, Novo Hamburgo, RS. E-mail: marianakluge@hotmail.com; fernandosr@feevale.br

INTRODUÇÃO

O crescimento da população, a urbanização, a industrialização e o desenvolvimento econômico são indicativos e causa do aumento da geração de resíduos. O descarte inadequado desses resíduos, principalmente os de origem orgânica, resulta em problemas sanitários e ambientais propiciando o surgimento de um ambiente para parasitas e vetores de doenças, além de contaminação das águas drenadas e emissão de odores e gases poluentes. Uma alternativa para a redução de custos de transporte de resíduos até o local de aterro sanitário é o investimento em centros de triagem e compostagem de resíduos orgânicos domésticos.

O lodo, hoje denominado biossólidos, é um produto de origem orgânica que resulta do tratamento de efluentes de esgotos, podendo ser reciclado ou reutilizado, desde que não acarrete prejuízos ambientais, para a saúde humana ou de outros animais. A agricultura e a indústria podem beneficiar-se da produção de lodo para fins agrícolas e ser usado como condicionador de solos ou na recuperação de áreas degradadas, uma vez que esses fertilizantes orgânicos são produtos de baixo custo. Por outro lado, a indústria economiza com as despesas de disposição final para o resíduo visando à sua possível venda.

Os produtos finais do lodo de esgoto são classificados de acordo com a presença e constituição de micro-organismos e outros parasitas no material, isto é: à Classe "A" pertence o lodo ou subproduto que se apresenta livre de organismos potencialmente patogênicos predefinidos ou, ainda, respeitando limites quantitativos representativos de *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos e à Classe "B" os produtos de lodo cujos limites excedem os permitidos por legislação competente (CONAMA, 2006). O produto de Classe "A" requer monitoramento e confirmação da padronização dos índices dos organismos definidos razão pela qual a aplicação do produto de Classe "B" no solo requer manejo para sua conversão em Classe "A", a fim de garantir a qualidade e a segurança do produto fazendo uso dos critérios e cuidados quando da exposição pública.

Assim, o processo de compostagem pode ser um recurso viável para o tratamento de resíduos sólidos domésticos e lodo de esgoto misturado com o posterior reaproveitamento do produto final. A temperatura do processo de compostagem é o principal fator que determinará a sucessão das populações microbianas e sua representatividade nas fases de degradação, sendo elas a mesofílica e a termofílica (Rebollido et al., 2008). A temperatura também pode ser usada como referencial de indicação da evolução e qualidade do processo. No entanto, a eficiência da sanitização depende do tempo de exposição do material, da leira a altas temperaturas e da sua uniformidade em toda a leira (Arthurson, 2008).

A Resolução 375/2006 do CONAMA, definida pelo Ministério do Meio Ambiente determina, entre outros, os parâmetros microbiológicos para a utilização de lodo de esgoto como insumo agrícola, por este poder apresentar altas contagens de populações microbianas patogênicas. Por outro lado, o lodo de esgoto apresenta altas concentrações de nutrientes e matéria orgânica, trazendo benefícios ao solo e à agricultura. Sendo assim, o lodo de esgoto a ser encaminhado para a disposição em

solos deve ser classificado, preferencialmente, como material de Classe "A", uma vez que este não apresenta restrições para uso.

Portanto, o processo de compostagem deve garantir, por meio do tratamento termofílico, a eliminação de patógenos que podem estar presentes no material inicial que foi submetido a tratamento. O monitoramento cauteloso durante o processo de compostagem, tal como da estocagem do produto final, é fundamental para garantir a qualidade do produto da compostagem.

Ovos do gênero *Ascaris* sp. têm as mais altas taxas de resistência e sobrevivência dentro das condições de tratamento de efluentes (Koné et al., 2007). A concentração residual de ovos de helmintos no lodo é relacionada à prevalência e intensidade entre índices de infecção e perfil da população local onde o lodo de esgoto é coletado, bem como de outros vários fatores que influenciam na sobrevivência do parasita. A temperatura, secagem e luz ultravioleta, são os principais fatores que influenciam sua eliminação sendo que ovos de helmintos podem sobreviver de 10 a 12 meses após a evacuação e inserção em sistemas de esgoto em climas tropicais (Sanguinetti et al., 2005).

O objetivo do presente trabalho foi analisar parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e a presença de ovos viáveis de helmintos avaliando, assim, a qualidade do produto de compostagem de resíduos orgânicos domésticos com lodo de esgoto.

MATERIAL E MÉTODOS

Uma leira de compostagem foi montada em uma usina de triagem de resíduos sólidos no município de Porto Alegre, RS, em junho de 2009, cuja constituição foi de 11 toneladas de resíduos orgânicos domiciliares, seis toneladas de poda vegetal, originárias de corte de árvores e mais quatro toneladas de lodo de esgoto oriundo de uma estação de tratamento de efluentes de esgoto.

A leira de compostagem foi monitorada e as coletas realizadas em intervalos de aproximadamente 15 dias, entre junho de 2009 e janeiro de 2010. A manutenção da umidade durante o processo foi realizada exclusivamente pelas precipitações pluviais. O revolvimento da leira foi realizado de 2 a 3 vezes por semana, por meio de uma retroescavadeira visando garantir a aeração e o controle da temperatura no material.

A cada coleta foi determinada a temperatura média da leira obtida a partir da leitura da temperatura do ápice, centro e base da leira, em diferentes pontos de sua extensão. Realizaram-se as coletas das amostras retirando-se porções de material em processo de compostagem em diferentes pontos (ápice, centro e base) totalizando 1 kg de amostra coletada. O material foi armazenado em recipientes assépticos e conduzido até o laboratório de Microbiologia da UFRGS, para processamento.

As amostras coletadas foram processadas misturando-se 10 g da amostra de resíduo em 90 mL de água destilada estéril. A solução foi homogeneizada sob agitação a 120 rotações por minuto (rpm), na temperatura de 30 °C, durante 30 min. A partir da primeira diluição (10^{-1}) seguiram-se as diluições seriadas utilizando-se, para o processamento, as diluições 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} para os testes colimétricos. Essas diluições foram semeadas em placas de Petri contendo os meios ágar *Salmonella*

Shighella (SS), ágar triptona de soja (TSB) e ágar padrão para contagem (PCA). As placas foram incubadas por 24-48 h a 37 °C e as sementeiras realizadas em triplicata.

As colônias bacterianas obtidas das diferentes placas com diferentes meios foram selecionadas para isolamento e purificação. A seleção da colônia foi aleatória retirando-se uma por quadrante de cada placa. As mesmas foram isoladas e purificadas através de esgotamento em placas contendo o mesmo meio de cultura de origem. Após o esgotamento as colônias foram submetidas à coloração de Gram, a fim de confirmar a pureza, morfologia e arranjos das células tal como, também, classificar os isolados em Gram positivos e Gram negativos, após o que se procederam aos testes bioquímicos para identificação do gênero *Salmonella* sp., segundo MacFaddin (2000).

O ensaio colimétrico foi realizado pela técnica da fermentação em tubos múltiplos com seriação de cinco tubos (APHA, 1998). No decorrer do processo de compostagem foi necessário adaptar o fator de diluição a ser utilizado nos testes. Desta forma, no início do processo de compostagem a diluição da amostra utilizada foi de 10^{-6} e, no final do processo, a diluição 10^{-4} . Para o ensaio colimétrico do material de lodo de esgoto foi utilizada a diluição 10^{-3} .

A contagem de bactérias heterotróficas foi realizada em placas contendo o meio de cultura PCA. As amostras foram semeadas e incubadas a 37 °C por 24-48 h. As placas consideradas para a contagem foram aquelas que apresentaram entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC).

Os ensaios para observar a presença de ovos de helmintos no composto e sua viabilidade, foram realizados no Laboratório de Bacteriologia da Divisão de Pesquisas do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) em Porto Alegre, RS.

A detecção de vírus entéricos foi realizada no Laboratório de Microbiologia Molecular da Universidade FEEVALE, em Novo Hamburgo, RS. Foram avaliadas as amostras do lodo de esgoto e do composto maturado, sendo utilizado o protocolo padrão da USEPA para a detecção de unidades formadoras de placas de lise, e os testes moleculares de acordo com Vecchia et al. (2012).

As análises COT e NTK foram realizadas no Laboratório de Solos da UFRGS.

O pH das amostras foi determinado a partir de 10 g da amostra diluídos em 90 mL de água destilada estéril, utilizando-se um pHmetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução do processo de compostagem foi conduzida por fatores limitantes do mesmo, sendo a temperatura um dos mais importantes. A temperatura média da leira de compostagem variou entre 37,3 °C no início do processo, alcançando a temperatura de no máximo 67,6 °C durante a fase termofílica e retornando ao valor inicial de 37 °C no final do processo (Tabela

1). A fase termofílica se iniciou na coleta 2 (55 °C), encerrando durante a coleta 6 (46 °C). Houve alteração acentuada de temperatura entre as coletas 6 e 7, reduzindo de 46 para 24 °C, que pode ter sido provocado por intensa precipitação no local nos dias anteriores à coleta, mantendo a leira úmida por extenso período.

A fase termofílica proporciona a redução de populações bacterianas oriundas tanto de resíduos orgânicos domésticos como do material orgânico do lodo de esgoto, contribuindo para a estabilização do composto. Os valores máximos de temperatura da fase termofílica do presente trabalho foram semelhantes aos obtidos por Ren et al. (2010) que investigaram compostagem de resíduos de espigas de milho com esterco suíno, e Cofie et al. (2009) analisando compostagem de lodo de origem fecal com resíduos orgânicos e também obtiveram resultados que se assemelham aos alcançados no presente trabalho. Temperaturas máximas de 60 °C durante a fase termofílica de compostagem foram observadas por Silva et al. (2009) com processo de compostagem com esterco suíno. O aumento da temperatura durante o processo de compostagem é consequência do metabolismo de decomposição microbiana podendo ser considerado um parâmetro de eficiência do processo de degradação, desde que a temperatura seja controlada.

Durante a fase inicial da compostagem foram registrados os menores valores de pH, entre 6,7 e 6,9, que estão relacionados ao intenso processo de decomposição de moléculas simples com produção de ácidos orgânicos (Hanajima et al., 2010). Os valores do pH aumentaram (alcalinidade) com o decorrer do processo atingindo o valor máximo de 8,37 e retornando a pH 7,5 no estágio de maturação do composto. Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos de Kalamdhad & Kazmi (2009) e Yang et al. (2008).

Valores mais altos de pH foram observados durante a fase termofílica do processo, valores esses que podem estar relacionados com a baixa relação C/N presente no lodo de esgoto, uma vez que as altas concentrações de compostos nitrogenados presentes no material, são degradadas, provocando volatilização de amônio (NH_4^+) o que pode tornar o pH alcalino, processo este passível de ser influenciado pelas altas temperaturas do sistema termofílico. No presente trabalho ocorreu, no período da coleta 7, uma drástica queda de temperatura, devido às condições climáticas da leira; no entanto, o pH permaneceu alcalino. Yang et al. (2008) observaram que 56,7% do amônio oriundo dos constituintes nitrogenados do sistema volatilizaram durante e após a fase termofílica do processo de compostagem. Sugere-se, então, que a relação C/N e o valor de pH podem estar relacionados já que o amônio resultante da degradação de compostos nitrogenados pode provocar aumento nos valores de pH.

A relação C/N do início do processo foi de 18,3/1, valor este semelhante ao encontrado por Yang et al. (2008) com valores iniciais de 19,8/1. Por outro lado, Kianirad et al. (2010) observaram, trabalhando com compostagem de resíduos de

Tabela 1. Temperatura média da leira e pH das amostras de cada coleta de resíduo em processo de compostagem

Coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temperatura da Leira (°C)	37,3	55,0	57,0	63,30	67,6	46,0	24,0	20,0	32,00	36,6	37,0
pH da Amostra	6,7	6,9	8,3	8,37	8,2	7,6	8,1	7,6	8,05	7,9	7,5

espigas de milho, que a relação C/N variou de 38 no estágio inicial, a 13,9 ao final do processo. Kurola et al. (2011) obtiveram valores acima de 25/1 em um experimento de compostagem com a adição de cinzas de madeira. O composto maturado apresentou valor C/N de 4/1, indicando o fim do processo de degradação.

No início do processo de compostagem pôde-se observar redução na contagem de bactérias do grupo dos coliformes e bactérias heterotróficas (Tabela 2). No entanto, quando na segunda coleta constatou-se, ao ser adicionado lodo de esgoto na leira, um aumento considerável tanto de coliformes como de bactérias heterotróficas. Este aumento é resultado do aumento da carga microbiana presente no lodo, bem como de outra fonte de matéria orgânica.

Tabela 2. Temperatura da leira de compostagem versus contagem de coliformes e bactérias heterotróficas por coleta

Coleta	Temperatura da Leira (°C)	Heterotróficos	Coliformes Totais (UFC g ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i>
1	37,3	5,2 X 10 ⁷	3 x 10 ⁷	2 x 10 ⁶
2	55,0	2,2 X 10 ⁵	3,4 x 10 ⁴	1,1 x 10 ⁴
3	57,3	2,1 X 10 ⁶	9 x 10 ⁶	9 x 10 ⁴
4	63,3	2,6 X 10 ⁶	2,8 x 10 ⁶	7 x 10 ⁴
5	67,6	8,3 X 10 ⁵	1,3 x 10 ⁶	2 x 10 ⁴
6	46,0	8,7 X 10 ⁵	5 x 10 ⁵	4 x 10 ⁴
7	24,0	1,8 X 10 ⁵	5 x 10 ⁵	4 x 10 ⁴
8	20,0	8,1 X 10 ⁵	3,3 x 10 ⁵	8 x 10 ⁴
9	32,0	4 X 10 ⁴	4 x 10 ⁴	2 x 10 ⁴
10	36,6	5 x 10 ⁵	2,7 x 10 ⁴	0
11	37,0	2,5 X 10 ⁶	3,4 x 10 ⁵	4 x 10 ⁴

Os índices colimétricos sofreram uma redução durante a fase termofílica a partir da coleta 7, relacionada com o aumento progressivo da temperatura da leira que ocorre em consequência da atividade de degradação da matéria orgânica. Após a fase termofílica ocorreram oscilações de contagem de coliformes totais e *E. coli*, provavelmente vinculados às variações de temperatura por toda a dimensão da leira de compostagem.

Durante a coleta 10 não foi registrada a presença de *E. coli*, o que poderia indicar um processo de sanitização eficiente do material devido ao aumento de temperatura. Ainda há a possibilidade de eliminação de *E. coli* por fatores ecológicos e/ou carências nutricionais, como competição (Puri & Dudley, 2010) ou exaustão de fontes de energia na forma de carbono, respectivamente. O ressurgimento de coliformes totais, principalmente de *E. coli*, ao final do processo (coleta 11) pode sinalizar uma recontaminação do material. Diferentes autores obtiveram resultados que demonstraram um aumento no número de coliformes ao final do processo de compostagem (Kim et al., 2009; Sobratee et al., 2009; Khalil et al., 2011). Por outro lado, o fato de não ter sido acusada a presença de *E. coli* por teste colimétrico durante a coleta 10, poderia ser atribuído à aleatoriedade da coleta da amostra na leira, uma vez que foram selecionados 10 g de material em meio a todo o volume (em toneladas) de material orgânico que poderia estar contaminado. Ainda o aumento da temperatura da leira de compostagem pode não ter atingido altos valores por toda a sua dimensão, levando a uma distribuição desigual de temperatura que não teria promovido a eliminação da bactéria em alguns pontos.

Caso tenha ocorrido recontaminação do composto, este também pode ter sido resultado de restos de materiais presentes nas retroescavadeiras que são utilizadas para o revolvimento de todas as leiras na usina, estando essas em diferentes estágios de decomposição. Outra hipótese seria a exposição do material em decomposição a céu aberto, à mercê de animais presentes no local, como cães e aves. Shepherd et al. (2010) relataram a ausência de *E. coli* após a fase termofílica mas observaram recontaminação após a adição de material parcialmente compostado na leira. Resultados de comparações entre sistemas de compostagem estéreis e não estéreis controlados sinalizaram que a rápida redução de *E. coli* esteve relacionada à competição por outros micro-organismos presentes ao longo do processo (Puri & Dudley, 2010).

O sucesso na eliminação de micro-organismos patogênicos durante o processo de compostagem depende, portanto, de altas temperaturas, do tempo de exposição do material a essas temperaturas elevadas e da uniformidade da temperatura sobre o material da leira de compostagem (Arthurson, 2008).

Os valores de contagens de bactérias heterotróficas oscilaram com o decorrer do processo, sem indicar alterações relevantes da atividade das populações microbianas em alguma das fases do processo de compostagem. A coleta 1, realizada a partir do material constituído por resíduos orgânicos, apresentou a maior contagem de bactérias e coliformes durante o processo. Uma hipótese para a alta contagem de bactérias heterotróficas durante a fase termofílica seria a germinação de endosporos presentes na leira (Gomes et al., 2007) ou mesmo a proliferação de bactérias termotolerantes.

A menor contagem de bactérias heterotróficas ocorreu durante a coleta 9, com 4 x 10⁴ UFC g⁻¹, seguindo até o final do processo de compostagem com aumentos nos valores das contagens, o que corrobora, mais uma vez, com a hipótese de recolonização do material compostado. Khalil et al. (2011) observaram, no início da degradação de resíduos com lodo, valores de heterotróficos totais de 1,49 x 10¹⁰ UFC g⁻¹, havendo redução na contagem ao longo da fase termofílica e posteriormente um aumento para valores em torno de 2 x 10¹⁶ UF .g⁻¹ no produto final da compostagem.

Em uma análise de diversidade microbiológica de compostos de diferentes origens orgânicas, Moreira et al. (2008) observaram a contagem de heterotróficos de 4,4 x 10⁷ UFC g⁻¹ para produtos de origem domiciliar, 7 x 10⁵ UFC g⁻¹ para produto oriundo de lodo de esgoto, e 5 x 10⁴ UFC g⁻¹ para compostos de resíduos orgânicos municipais. Segundo os autores, a justificativa para o aumento na contagem de heterotróficos no produto de origem domiciliar seria o fato de a leira não ultrapassar as temperaturas de 50 °C, o que não contribuiria para a eliminação dos micro-organismos. Arian et al. (2009) verificaram a contagem de 2,3 x 10⁹ UFC g⁻¹ no início do processo de compostagem de esterco bovino, reduzindo o valor para 2,1 x 10⁶ UFC g⁻¹ na contagem do produto final.

De acordo com a Resolução nº 375/2006 do CONAMA, o critério “presença de *Escherichia coli*” é preconizada pelo limite de 10³ UFC g⁻¹ de composto maturado. Desta forma, a qualidade do composto maturado resultante do processo em estudo, não se enquadraria nas normas somente por este padrão de quantificação, dentre os estabelecidos, tornando o

material de compostagem passível de um processo adicional para a sanitização.

A comparação dos resultados obtidos no presente trabalho, com os padrões estabelecidos pelo CONAMA, é apresentada na Tabela 3. Não foram identificados isolados bacterianos do gênero *Salmonella* sp. por meio dos testes bioquímicos e também não foram detectados ovos de helmintos na coleta 11, referentes ao composto maturado. Por sua vez, o ensaio de PCR para a detecção de vírus entéricos não detectou presença de enterovirus nem de adenovirus e também não foi observado efeito citotóxico sobre as células cultivadas.

Tabela 3. Padrões microbiológicos preconizados pelo CONAMA e valores obtidos do produto de compostagem

Padrão	Limite (CONAMA)	Resultado
<i>Escherichia coli</i>	10 ³ UFC g ⁻¹	4 x 10 ⁴ UFC g ⁻¹
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente em 10 g	Ausente
Ovos de helmintos	0,25 g ⁻¹	Ausente
Vírus entéricos	0,25 UFP g ⁻¹	Ausente

Uma vez que não tenha sido realizada a identificação dos isolados desde o início do processo, não se pode confirmar a presença de *Salmonella* sp. nos estágios iniciais da compostagem, bem como que tenha sido eliminada ao longo do tratamento. Khalil et al. (2011) reportaram a redução na contagem de *Salmonella* sp. de 3,3 x 10⁵ UFC g⁻¹ no início do processo de compostagem com lodo, para 2 UFC g⁻¹ após a temperatura da leira atingir 60 °C, não sendo mais identificada ao final do processo. Não foram observados ovos viáveis de helmintos no conteúdo do lodo que foi misturado à leira de compostagem, bem como ao final do processo. No entanto, como a amostra do início do processo não foi avaliada quanto à presença de ovos de helmintos, também não se pode afirmar que as altas temperaturas da fase termofílica do processo de compostagem tenham sido responsáveis pela eliminação dos ovos. Silva et al. (2008) consideraram o pH e as interações interespecíficas durante o processo de compostagem com lodo como fatores adicionais, além da temperatura, para a eliminação total de ovos de helmintos durante o experimento. Por outro lado, Koné et al. (2007) não obtiveram sucesso na eliminação total de ovos de helmintos de compostagem com lodo de origem fecal detectando, ao final do processo, valores abaixo de 1 ovo g⁻¹ de composto.

Tanto o material do lodo de esgoto que foi adicionado à leira de compostagem, como o composto maturado, apresentaram boa qualidade, no que diz respeito à ausência de vírus entéricos cuja eliminação também pode ser atribuída à eficiência dos sistemas de tratamento de efluentes de esgoto. Resultados positivos para detecção de enterovirus cultiváveis foram encontrados por Costán-Longares (2008) estudando águas residuais na Espanha, e Prado et al. (2011) detectaram vírus entéricos em efluentes hospitalares tratados. Esses resultados demonstram a complexa remoção de vírus entéricos durante processos de tratamento de efluentes, tal como sua permanência no ambiente em que se depositam por meio de resíduos com contaminação fecal.

Embora resultados do presente trabalho relacionados à presença de *Salmonella* sp., ovos de helmintos e de vírus

entéricos estejam enquadrados nas regulamentações do CONAMA para a liberação e disposição do composto oriundo de lodo de esgoto para uso agrônômico, o número mais provável (NMP) de *E. coli* apontou contagem superior à preconizada pela legislação sugerindo a necessidade de controle microbiológico adicional, ao final do processo de compostagem.

CONCLUSÕES

1. Como pH e temperatura do sistema de compostagem, os parâmetros físico e químicos oscilaram conforme as fases de maturação e os valores da relação C/N foram condizentes com o início e maturação do processo.

2. As contagens de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *E. coli* oscilaram ao longo do processo sem apresentar uma relação direta com as diferenças de temperatura durante o início até o fim da compostagem.

3. O composto maturado apresenta-se livre de ovos de helmintos, *Salmonella* sp. e vírus entéricos.

LITERATURA CITADA

- APHA – American Publishing Health Associated. Standards methods for the examination of water and wastewater. 20ed, 1998.
- Arikan, O. A.; Mulbry, W.; Rice, C. Management of antibiotic residues from agricultural sources: Use of composting to reduce chlortetracycline residues in beef manure from treated animals. *Journal of Hazardous Materials*, v.164, p.483-489, 2009.
- Arthurson, V. Proper sanitization of sewage sludge: A critical issue for a sustainable society. *Applied and Environmental Microbiology*, v.74, p.5267-5275, 2008.
- Cofie, O.; Kone, D.; Rothenberger, S.; Moser, D.; Zubruegg, C. Co-composting of faecal sludge and organic solid waste for agriculture: Process dynamics. *Water Research*, v.43, p.4665-4675, 2009.
- Colón, J.; Ruggieri, L.; Sánchez, A.; González, A.; Puig, I. Possibilities of composting disposable diapers with municipal solid wastes. *Waste Management & Research*, v.29, p.249-259, 2010.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375/2006, 29/8/2006. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano/>. Acesso em: 5 Jan 2011.
- Corrêa, R. S.; Fonseca, Y. M. F.; Corrêa, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.420-426, 2007.
- Costán-Longares, A.; Mocé-Llivina, L.; Avellón, A.; Jofre, J.; Lucena, F. Occurrence and distribution of culturable enteroviruses in wastewater and surface waters of north-eastern Spain. *Journal of Applied Microbiology*, v.105 1945–1955. 2008.
- Feachem, R.G.; Bradley, D. J.; Garelick, H.; Mara, D. D. Sanitation and disease: Health aspects of excreta and wastewater management. Chichester: John Wiley & Sons, 1983. 501p.

- Gomes, E.; Guez, M. A. U.; Martin, N.; Silva, R. Enzimas termoestáveis: Fontes, produção e aplicação industrial. *Química Nova*, v.30, p.136-145, 2007.
- Hanajima, D.; Kuroda, K.; Morishita, K.; Fujita, J.; Maeda, K.; Morioka, R. Key odor components responsible for the impact on olfactory sense during swine feces composting. *Bioresources Technology*, v.101, p.2306-2310, 2010.
- Kalamdhad, A. S.; Kazmi, A. A. Rotary drum composting of different organic waste mixtures. *Waste Management & Research*, v.27, p.129-137, 2009.
- Khalil, A. I.; Hassouna, M. S.; El-Ashqar, H. M. A.; Fawzi, M. Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, v.27, p.2359-2369, 2011.
- Kianirad, M.; Muazardalan, M.; Savaghebi, G.; Farahbakhsh, M.; Mirdamadi, S. Effects of temperature treatment on corn cob composting and reducing of composting time: A comparative study. *Waste Management & Research*, v.28, p.882-887, 2010.
- Kim, J.; Shepherd Jr., M. W.; Jiang, X. Evaluating the effect of environmental factors on pathogen regrowth in compost extract. *Microbial Ecology*, v.58, p.498-508, 2009.
- Koné, D.; Cofie, O.; Zurbrugg, Z.; Gallizi, K.; Moser, D.; Drescher, S.; Strauss, M. Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates. *Water Research*, v.41, p.4397-4402, 2007.
- Kurola, J. M.; Arnold, M.; Kontro, M. H.; Talves, M.; Romantschuk, M. Wood ash for application in municipal biowaste composting. *Bioresource Technology*, v.102, p.5214-5220, 2011.
- MacFaddin, J. F. *Biochemical tests for identification of medical bacteria*. 3. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2000. 912p.
- Moreira, I. V.; Silva, M. E.; Manaia, C. M.; Nunes, O. C. Diversity of Bacterial Isolates from Commercial and Homemade Composts. *Microbial Ecology*, v.55, p.714-722, 2008.
- Prado, T.; Silva, D. M.; Guilayn, W. C.; Rose, T. L.; Gaspar, A. M. C.; Miagostovich, M. P. Quantification and molecular characterization of enteric viruses detected in effluents from two hospital wastewater treatment plants. *Water Research*, v.45, p.1287-1297, 2011.
- Puri, A.; Dudley, E. G. Influence of indigenous eukaryotic microbial communities on the reduction of *Escherichia coli* O157:H7 in compost slurry. *Federation of European Microbiological Societies*, v.313, p.148-154, 2010.
- Rebollido, R.; Martínez, J.; Aguilera, Y.; Melchor, K.; Koerner, I.; Stegmann, R. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. *Applied Ecology and Environmental Research*, v.6, p.61-67, 2008.
- Ren, L.; Li, G.; Shen, Y.; Schuchardt, F.; Peng, L. Chemical precipitation for controlling nitrogen loss during composting. *Waste Management & Research*, v.28, p.385-394, 2010.
- Sanguinetti, G. S.; Tortul, C.; Garcia, M. C.; Ferrer, V.; Montanero, A.; Strauss, M. Investigating helminth eggs and *Salmonella* sp. in stabilization ponds treating septage. *Water Science and Technology*, v.51, p.239-247, 2005.
- Shepherd Jr., M. W.; Liang, P.; Jiang, X.; Doyle, M. P.; Erickson, M. C. Microbiological analysis of composts produced on South Carolina poultry farms *Journal of Applied Microbiology*, v.108, p.2067-2076, 2010.
- Silva, A. G.; Leite, V. D.; Silva, M. M. P.; Prasad, S.; Feitosa, W. B. S. Compostagem aeróbia conjugada de lodo de tanque séptico e resíduos sólidos vegetais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.13, p.371-379, 2008.
- Silva, M. E.; Lemos, L. T.; Queda, A. C. C.; Nunes, O. C. Co-composting of poultry manure with low quantities of carbon-rich materials. *Waste Management & Research*, v.27, p.119-128, 2009.
- Sobratee, N.; Mohee, R.; Driver, M. F. B. Variation of broth composition by addition of broiler litter composting substrate extracts: influence on faecal bacterial growth. *Journal of Applied Microbiology*, v.107, p.1287-1297, 2009.
- Vecchia, A. D.; Fleck, J. D.; Comerlato, J.; Kluge, M.; Bergamaschi, B.; Silva, J. V. S.; Luz, R. B.; Teixeira, T. F.; Garbinatto, G. N.; Oliveira, D. V.; Zanin, J. G.; Van Der Sand, S.; Frazzon, A. P. G.; Franco, A. C.; Roehle, P. M.; Spilki, F. R. First description of adenovirus, enterovirus, rotavirus and Torque teno virus on surface water samples collected from the Arroio Dilúvio, Porto Alegre, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v.72, p.323-329, 2012.
- Yang, Y.; Zhang, X.; Yang, Z.; Xi, B.; Liu, H. Turnover and loss of nitrogenous compounds during composting of food wastes. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, v.2, p.251-256, 2008.