

## MONITORAMENTO DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE LODO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE COM CASCA DE EUCALIPTO E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Caroline de Moura D'Andréa Mateus<sup>1</sup> (caroline@fca.unesp.br), Roberto Lyra Villas Bôas<sup>1</sup> (rlvboas@fca.unesp.br), Roseli Visentin<sup>1</sup> (rosevisentin@hotmail.com), Marianne Fidalgo de Faria<sup>1</sup> (marianneffaria@hotmail.com), Marcelo Scantamburlo Denadai<sup>1</sup> (msdenadai@fca.unesp.br)  
1 FCA/UNESP – Faculdade de Ciências Agrônômicas

### RESUMO

O lodo de tratamento de efluente é o resíduo sólido gerado em maior quantidade nas ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) e têm como destino final, quase sempre, os aterros sanitários. Entretanto, o lodo de tratamento de efluente contém matéria orgânica e nutrientes, que poderiam ser aplicados na área agrícola e florestal como fertilizante/condicionador de solo. A Resolução Conama 375/2006 dificultou o uso do lodo de tratamento de efluente na agricultura, mas o MAPA permite sua utilização como Produto Fertilizante Orgânico Composto Classe D. Para ser enquadrado nessa definição o lodo de tratamento de efluente pode ser submetido ao processo de compostagem misturando-o com uma fonte de carbono, o que possivelmente permitirá a higienização da massa através da diminuição ou eliminação dos organismos patogênicos, devido à elevação da temperatura. Assim, objetivou-se com este trabalho verificar a temperatura do material ao longo do processo de compostagem. Foram utilizados como fonte de carbono na mistura a casca de eucalipto e o bagaço de cana-de-açúcar, em duas proporções volumétricas, 2:1 (duas partes de carbono e uma parte de lodo) e 1:1 (uma parte de carbono e uma parte de lodo), totalizando quatro tratamentos e três repetições em delineamento experimental inteiramente casualizado. Ao final do processo de compostagem, a temperatura foi eficaz para redução da atividade de vetores e redução adicional de patógenos em todos os tratamentos, pois foi mantida acima de 40°C por pelo menos 14 dias, com média do período maior que 45°C, e apresentou por três dias ou mais a temperatura mínima de 55°C.

**Palavras-chave:** Biossólido, Composto orgânico, Adubação orgânica.

## TEMPERATURE MONITORING IN COMPOSTING OF BIOSOLIDS WITH EUCALYPTUS BARK AND SUGAR CANE BAGASSE

### ABSTRACT

Biosolids are the solid residue produced in greater quantity by Wastewater Treatment Plants (WWTPs) and, usually, have landfills as final destination. However, biosolids contain organic matter and nutrients, which allow them to be applied in agricultural and forestry lands as a fertilizer and/or a soil conditioner. The CONAMA Resolution 375/2006 created some obstacles for the land application of biosolids, but MAPA allows the use of biosolids as a Class D Compost Organic Fertilizer Product. To be included at this definition, biosolids have to be submitted to a composting process by mixing them with a source of carbon, which will, probably, allow the hygiene of the mass by reducing or eliminating pathogenic organisms due to the elevation of temperature. Thus, the objective of this work was to verify the temperature of the material throughout the composting process. Eucalyptus bark and sugarcane bagasse were used as carbon source in two volumetric proportions, 2:1 (two parts of carbon and one part of biosolids) and 1:1 (one part of carbon and one part of biosolids), totalizing four treatments and three replicates in a completely randomized experimental design. At the end of the composting process, the temperature was effective to reduce vector activity and additional pathogen reduction in all treatments, once the temperature was maintained above 40°C for at least 14 days, with an average temperature higher than 45°C during the process. For at least three days the minimum temperature was 55°C.

**Keywords:** Biosolids, Organic compost, Organic fertilization.

## 1. INTRODUÇÃO

O lodo de tratamento de efluente é o resíduo sólido gerado em maior quantidade nas ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) e têm como destino final, quase sempre, os aterros sanitários. Esta disposição certamente não é a melhor opção por vários aspectos: a) os aterros tem seu custo de deposição; b) a legislação a partir de 2014 obriga a deposição em aterros específicos, portanto mais caros e certamente mais distantes dos pontos de produção; c) o lodo de tratamento de efluente contém alta umidade e gera lixiviado que deverá por sua vez ser contido e tratado; d) o lodo de tratamento de efluente contém matéria orgânica e nutrientes, que poderiam ser aplicados na área agrícola e florestal como fertilizante orgânico.

O uso do lodo de tratamento de efluente em área agrícola foi realizado por algumas ETEs. No entanto, a partir de 2011, quando a resolução Conama 375/2006 entrou em vigor, houve grande dificuldade das ETEs cumprirem os limites de tolerância para indicadores de patogenicidade para os lodos Classe A, principalmente análise de vírus. Uma alternativa encontrada para o uso na agricultura do lodo de tratamento de efluente é enquadrá-lo como Produto Fertilizante Orgânico Composto Classe D, através do MAPA (Decreto nº 4.954 de 14/01/14, alterado pelos Decretos nº 8.059 de 26/07/13 e nº 8.384 de 29/12/14, e pelas Instruções Normativas nº 27 de 05/06/06 e nº 25 de 23/07/09).

Para receber essa classificação o lodo de tratamento de efluente pode ser submetido ao processo de compostagem através da mistura com uma fonte de carbono permitindo a elevação da temperatura, o que possivelmente resultará na diminuição ou eliminação dos organismos patogênicos em conformidade com a legislação.

Vários Institutos de Pesquisa desenvolveram estudos sobre uso do lodo de tratamento de efluente em culturas agrícolas e florestais. A FCA/UNESP de Botucatu, também participou desta linha com algumas pesquisas, destacando-se o uso do lodo na recuperação de áreas degradadas (SAMPAIO, 2010; GUERRINI et al., 2010), como componente de substrato para a produção de mudas de eucalipto (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003), e como fertilizante em diversas culturas tais como: grama produzida em tapetes (BACKES et al., 2009; BACKES et al. 2010), soja e aveia (CORREA et al., 2009; FREITAG, 2008; MIGGIOLARO, 2009; LOBO, et al. 2012a), girassol (LOBO; GRASSI FILHO, 2007), feijão (LOBO et al., 2012b) e mamona (SOUTO, 2007).

Vários resíduos podem ser utilizados como fonte de carbono no processo de compostagem com o lodo de tratamento de efluente, entretanto, cada um possui características físicas e químicas próprias que determinam o comportamento do processo.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é monitorar a temperatura durante o processo de compostagem do lodo de tratamento de efluente com dois tipos de materiais estruturantes: casca de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar.

## 3. METODOLOGIA

Para realização do trabalho, foi instalada uma estufa de compostagem na ETE da Sabesp de Botucatu, localizada na Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA/UNESP. Foi utilizado lodo de tratamento de efluente digerido de reatores UASB, proveniente da ETE de Botucatu, que é muito comum nas ETEs da Sabesp (Figura 1).

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, composto por 4 tratamentos e 3 repetições, sendo cada parcela constituída por leira de 2,0 m de comprimento, 3,0 m de largura e 1,5 m de altura, totalizando o volume de 4,5 m<sup>3</sup> por parcela e 13,5 m<sup>3</sup> por tratamento. Os tratamentos consistiram em dois materiais estruturantes, casca de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar (Figura 2), utilizados na mistura com o lodo de tratamento de efluente em duas proporções



volumétricas, 2:1 e 1:1 (duas partes de carbono e uma parte de lodo e uma parte de carbono e uma parte de lodo).

Figura 1. Lodo de tratamento de efluente digerido de reatores UASB da ETE da Sabesp de Botucatu utilizado para compor as leiras de compostagem.



Figura 2. Materiais estruturantes utilizados na compostagem com o lodo de tratamento de efluente: a) casca de eucalipto e b) bagaço de cana-de-açúcar.



A montagem das leiras de compostagem foi realizada com auxílio de retroescavadeira e caminhão basculante. Utilizou-se como medida de volume a caçamba do carregador frontal da retroescavadeira. Após colocação dos materiais no caminhão basculante, o mesmo seguia para a estufa para descarregar a mistura já em formato de leiras (Figura 3).

As leiras de compostagem foram dispostas na estufa com espaçamento entre elas suficiente para o tráfego da máquina compostadora utilizada para o revolvimento das leiras durante o processo (Figura 4). A frequência de revolvimento das leiras variou ao longo do processo, de acordo com as características físicas (umidade e temperatura) apresentadas pelo material. No início do processo o objetivo do revolvimento foi de homogeneizar o material e, durante o processo, o objetivo foi de controlar a temperatura e manter a umidade necessária para a atividade microbiana.





Figura 3. Caminhão basculante utilizado para transportar a mistura de lodo de tratamento de efluente e materiais estruturantes (A – casca de eucalipto; B – bagaço de cana de açúcar) para a estufa, formando as leiras de compostagem.



Figura 4. Leira de compostagem recém-revolvida pela máquina compostadora na primeira semana do processo.



A temperatura foi monitorada para atender a Resolução CONAMA nº 375 (29/08/06) e Resolução CONAMA nº 380 (31/10/06) para redução de atratividade de vetores e redução adicional de patógenos, sendo determinado que durante o processo de compostagem a temperatura seja mantida acima de 40°C por pelo menos 14 dias e que a temperatura média desse período seja superior a 45°C para redução de atratividade de vetores. Para redução adicional de patógenos, determina-se temperatura de 55°C ou mais por 15 dias consecutivos e pelo menos 5 revolvimentos mecânicos da leira durante esses 15 dias.

O processo de compostagem foi observado por 7 semanas (42 dias), sendo realizadas as avaliações de temperatura e umidade ao longo do período (24 de novembro de 2016 a 05 de janeiro de 2017). Foram utilizadas as seguintes metodologias:

- Temperatura: foi avaliada diariamente em cada repetição, com o uso de sensores termopar inseridos no centro vertical e longitudinal da leira. Os sensores foram acoplados em dataloguer para armazenar os dados a cada 1 hora. Ao final do processo de compostagem, fez-se a média dos dados diários para apresentação em gráfico.
- Umidade: foi avaliada uma vez por semana, sendo coletadas quatro amostras simples para formação de uma amostra composta em cada repetição, com auxílio de trado tipo caneca. Cada amostra foi retirada de forma a representar todo o perfil da leira. Após a coleta, as amostras foram pesadas, colocadas para secar em estufa a 65°C e pesadas novamente, segundo metodologia estabelecida por Brasil/MAPA (2014).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois materiais estruturantes testados (casca de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar) na compostagem do lodo de tratamento de efluente apresentaram temperaturas adequadas para redução de atratividade de vetores e redução adicional de patógenos, em conformidade com a Resolução CONAMA nº 375 (29/08/06) e Resolução CONAMA nº 380 (31/10/06).

Verificam-se nas Figuras 5 e 6 que todas as temperaturas, do início ao fim do processo de compostagem, foram superiores a 40°C, em todos os tratamentos, ficando acima de 60°C por pelo menos 10 dias consecutivos em todos os materiais estudados. Além disso, a temperatura média de todo o processo de compostagem foi superior a 50°C, em todos os tratamentos. Para redução adicional de patógenos, o critério também foi atendido, pois foram observados 15 dias com temperatura igual ou superior a 55°C e realizados ao longo do processo de compostagem 8 revolvimentos no total.

Verifica-se também nas Figuras 5 e 6 que o T3 (bagaço de cana-de-açúcar e lodo de tratamento de efluente na proporção 2:1) atingiu maiores temperaturas ao longo de um maior número de dias do processo de compostagem.

Figura 5. Representação gráfica das médias diárias de temperatura (°C) em cada tratamento.

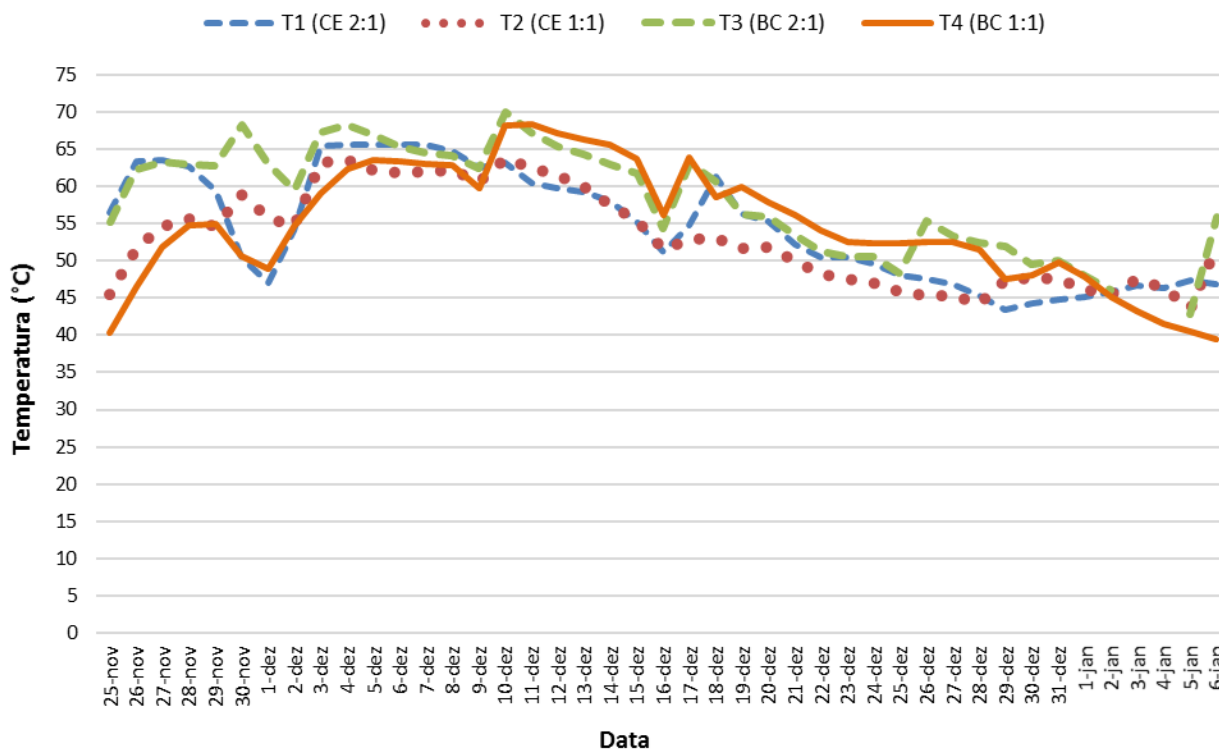


Figura 6. Médias diárias de temperatura (°C) em cada tratamento, destacando-se valores iguais ou maiores de 70°C (roxo), de 60 a 69°C (amarelo), de 55 a 59°C (laranja), de 50 a 54°C (verde), de 40 a 49°C (azul) e abaixo de 40°C (lilás).

Data	Temperatura média diária (°C)			
	T1: casca eucalipto + lodo esgoto 2:1	T2: casca eucalipto + lodo esgoto 1:1	T3: bagaço cana + lodo esgoto 2:1	T4: bagaço cana + lodo esgoto 1:1
25/11/16	57	46	55	40
26/11/16	63	52	62	46
27/11/16	64	55	63	52
28/11/16	63	56	63	55
29/11/16	59	55	63	55
30/11/16	50	59	68	51
01/12/16	47	56	63	49
02/12/16	54	55	60	55
03/12/16	65	63	67	59
04/12/16	66	64	68	62
05/12/16	66	62	67	63
06/12/16	66	62	65	63
07/12/16	66	62	65	63
08/12/16	65	62	64	63
09/12/16	62	61	62	60
10/12/16	63	64	70	68
11/12/16	60	63	67	68
12/12/16	60	62	65	67
13/12/16	59	60	64	66
14/12/16	58	58	63	66
15/12/16	55	55	62	64
16/12/16	51	52	54	56
17/12/16	55	53	63	64
18/12/16	61	53	61	58
19/12/16	56	52	56	60
20/12/16	55	52	56	58
21/12/16	52	50	53	56
22/12/16	51	48	51	54
23/12/16	51	48	50	53
24/12/16	50	47	50	52
25/12/16	48	46	48	52
26/12/16	48	45	55	52
27/12/16	47	45	53	52
28/12/16	45	44	52	52
29/12/16	43	47	52	47
30/12/16	44	48	50	48
31/12/16	45	47	50	50
01/01/17	45	46	48	48
02/01/17	46	45	46	45
03/01/17	47	47	49	43
04/01/17	46	46	48	42
05/01/17	47	44	43	40
06/01/17	47	52	56	39
Média	55	53	58	55

A frequência de revolvimento variou ao longo do processo, de acordo com a umidade e temperatura apresentadas nas leiras. Nas duas primeiras semanas as leiras foram revolvidas a cada 2 dias, para homogeneizar o material e manter a temperatura entre 55 e 65°C. Na terceira e quarta semanas o objetivo do revolvimento foi de controlar a temperatura sem diminuir a umidade, sendo realizado a cada 3 dias. Nas duas últimas semanas, o revolvimento foi realizado a cada 7 dias, para estabilização da umidade e temperatura do composto.



O revolvimento das leiras influencia a temperatura de duas formas: na diminuição dos valores (quando se encontra próxima de 70°C) e através da aeração, que propicia aumento da atividade microbiana (juntamente com outros fatores) e consequente aumento dos valores de temperatura. A temperatura ambiente foi analisada diariamente e não houve correlação da mesma com a temperatura apresentada no perfil das leiras.

A presença de açúcares no bagaço de cana pode ter influenciado na aceleração do processo de fermentação das leiras e, conseqüentemente, na elevação da temperatura no início do processo. Segundo Miller (1992), as espécies de microrganismos envolvidos no processo de compostagem são definidas de acordo com as condições do meio, sendo, dessa forma, diferentes ao longo do processo. Neste experimento a população dos microrganismos decompositores não foi avaliada, podendo ser um estudo a ser desenvolvido futuramente. Adams e Frostick (2008) afirmam que a dinâmica microbiológica durante as fases específicas do processo de compostagem ainda é pouco conhecida.

Verifica-se que a umidade do material na leira de compostagem influencia a temperatura ao longo do processo, sendo que foram encontrados valores mais elevados de temperatura nos primeiros 20 dias de compostagem, quando os valores de umidade estavam acima de 50% (Tabela 1).

Tabela 1. Umidade (%) dos tratamentos estudados ao longo do processo de compostagem.

Data	Umidade (%)			
	T1: casca eucalipto + lodo tratamento de efluente (2:1)	T2: casca eucalipto + lodo tratamento de efluente (1:1)	T3: bagaço cana + lodo tratamento de efluente (2:1)	T4: bagaço cana + lodo tratamento de efluente (1:1)
24/11/2016	69	72	71	76
02/12/2016	59	62	69	74
09/12/2016	53	57	61	67
16/12/2016	34	47	52	59
29/12/2016	15	20	29	39
05/01/2017	11	14	15	30

## 5. CONCLUSÃO

Ao final do processo de compostagem, a temperatura foi eficaz para redução da atividade de vetores e redução adicional de patógenos em todos os tratamentos.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, J.D.W.; FROSTICK, L.E. Investigating microbial activities in compost using mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation as an experimental system. *Bioresource Technol.* V.99, p. 1097-1102, 2008.

BACKES, C.; BULL, L.T.; GODOY, L.J.G.; BÔAS, R.L.V.; LIMA, C.P.; PIRES, E.C. Uso de lodo de esgoto na produção de tapetes de grama esmeralda. *Ciência Rural.* V.39, p. 1045-1050, 2009.

BACKES, C.; SANTOS, A.J.M.; OLIVEIRA, M.R.; SANCHES, L.V.C.; VILLAS BÔAS, R.L.; OLIVEIRA, F.C. Massa e resistência de tapetes de grama imperial adubada com lodo de esgoto compostado. In: SIGRA – Simpósio sobre Gramados 5. 2010: anais..., Botucatu: Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade estadual Paulista, 2010. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos / Ministério da

Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.). Brasília: MAPA/SDA/CGAL, 2014. 220 p.

CORRÊA, J. C.; FREITAG, E. E.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M.; MARCELINO, R. Aplicação superficial de calcário e diferentes resíduos em soja cultivada no sistema plantio direto. *Bragantia*. V.68, n.4, p. 1059-1068, 2009.

GUERRINI, I. A.; SAMPAIO, T. F.; BACKES, C.; CARVALHO, N. C.; OLIVEIRA, F. C. Influence of sewage application in the recovery of a degraded quartzpiment. In: 19 World Congress of Soil Science, 2010, Austrália. *Soil solutions for a changing world* Brisbane, 2010.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T. Rendimento de massa seca e relação C/N da aveia preta em função da dose de lodo de esgoto e adubação nitrogenada. *Bioscience Journal*. V.28, n.2, p. 224-234, 2012a.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. *Revista Ceres*. V.59, n.1, p. 118-124, 2012b.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade de girassol. *Revista Ciencia Suelo/ Nutrition vegetal*. V.7, n.3, p. 16-25, 2007.

MIGGIOLARO, A. E. Lodos de esgoto, escória de aciaria e lama cal na cultura da soja sob sistema plantio direto em Latossolo Vermelho. Botucatu, 114 p., 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Miller, F.C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: Meeting, F.B. *Soil Microb. Ecol.* 18: 515-543. 1992.

SAMPAIO, T. F. Crescimento de espécies nativas da Mata Atlântica, modificações de atributos físicos do solo e de metais pesados no solo e na planta, em resposta à aplicação de lodo de esgoto. Botucatu, 84 p., 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SOUTO, L. S. Resposta da cultura da mamona à fertilização com lodo de esgoto. Botucatu, 75 p., 2007. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de bio sólido como substrato para a produção de mudas de eucalipto. *Scientia Florestalis*. n.64, p. 150-162, 2003.