

II-084 – PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOSSÓLIDO POR SECAGEM EM ESTUFA AGRÍCOLA: ESTUDO DE CASO EM VIÇOSA-MG

Rafael Kopschitz Xavier Bastos⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Especialização em Engenharia de Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/Fiocruz). PhD em Engenharia Sanitária, University of Leeds. Professor-Associado do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Edgard Henrique Oliveira Dias

Engenheiro Ambiental (UFV). Mestre em Engenharia Civil (UFV). Doutorando em Engenharia Civil (UFV).

Tiago de Brito Magalhães

Engenheiro Ambiental (UFV), Mestre em Engenharia Civil (UFV).

Renata Dias Sepúlveda

Graduanda em Engenharia Ambiental (UFV).

Gustavo Alves Puiatti

Graduando em Engenharia Ambiental (UFV).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário - CEP: 36570-000 - VIÇOSA-MG. Tel. (31) 3899-2352 - Fax: (31) 3899-2819 - e-mail: rkxb@ufv.br

RESUMO

Objetivando avaliar a higienização de lodo de esgoto proveniente de reator UASB, seis lotes de lodo, relativos a seis datas de descarte, foram submetidos a tratamento por desaguamento em leito de secagem seguido por secagem em estufa, no município de Viçosa-MG. Foram monitoradas as seguintes variáveis: pH, umidade sólidos totais e *E.coli*. Com base dos resultados de *E.coli* foi calculado o coeficiente de decaimento bacteriano (K_b). No leito de secagem, logo após o descarte, o lodo apresentou valores de pH bastante variados, entre 5,0 e 8,0, e tendência de acidificação ao longo do tratamento, estabilizando-se entre 5,0 e 6,0. Na estufa, observou-se forte desidratação do lodo, com teores de umidade abaixo de 10% e de sólidos totais acima de 90% em aproximadamente 85 dias de tratamento. Durante o tratamento na estufa foi também observado decaimento acentuado de *E.coli*, com coeficiente de decaimento (K_{b20}) de 0,056 d⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Biossólidos, *Escherichia coli*, lodo de esgoto, secagem em estufa, tratamento.

INTRODUÇÃO

O esgotamento sanitário é o serviço de saneamento básico com menor presença nos municípios brasileiros. De 1989 a 2000, esse serviço cresceu menos de 10%, enquanto o número de municípios aumentou aproximadamente 24% (IBGE, 2002). De 2000 a 2008, a cobertura de municípios com serviço de esgotamento sanitário subiu apenas de 52,2% para 55,2% (IBGE, 2010). Porém, mesmo que em passos lentos, a cobertura do tratamento de esgotos tem crescido no país, e por consequência, também cresce a preocupação com a gestão (tratamento e destino final) adequada do lodo gerado nos processos de tratamento.

Enquanto lodo de esgoto refere-se, genericamente, aos resíduos sólidos gerados em processos de separação de fases sólida e líquida em estações de tratamento de esgotos, o termo “biossólido”, introduzido na área do saneamento nos anos 1990, é usado para designar o lodo que foi suficientemente processado ao ponto de permitir sua reciclagem. Esse termo objetiva destacar o potencial uso benéfico do lodo, ao invés de ser visto apenas como um resíduo a ser descartado, por exemplo, por incineração ou em aterro sanitário (NEBRA, 2007).

A aplicação no solo, incluindo o uso agrícola e florestal, como condicionador de solo ou na recuperação de áreas degradadas, se apresenta como uma das mais atrativas opções (desde os pontos de vista ambiental, econômico e social) de tirar vantagens das características dos biossólidos, tais como o conteúdo de matéria orgânica, de nutrientes e a umidade. Por outro lado, se deve levar em conta os riscos, químicos e

microbiológicos, à saúde humana, incluindo o risco ao consumidor (de produtos cultivados com bioassólidos) e o risco ocupacional (trabalhadores em contato direto com bioassólidos)

No Brasil, o uso agrícola de bioassólidos é regulamentado pela Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006), a qual estabelece duas classes de lodo com as seguintes exigências de qualidade microbiológica: (i) lodo Classe A – coliformes termotolerantes (CTer) $< 10^3$ / g ST; ovos viáveis de helmintos $< 0,25$ ovo / g ST; ausência de *Salmonella* em 10 g ST e vírus $< 0,25$ UFP ou UFF / g ST; (ii) lodo Classe B – CTer $< 10^6$ / g ST; ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g ST. Adicionalmente, são estabelecidos critérios de uso de cada uma dessas duas classes, principalmente para a Classe B, incluindo a restrição de culturas e tempo mínimo a ser observado entre a aplicação do bioassólido e o cultivo.

A Resolução CONAMA nº 375 / 2006, em cópia praticamente fiel da norma dos Estados Unidos (USEPA, 1993) lista técnicas de higienização de lodo compatíveis com “redução significativa de patógenos” e “redução adicional de patógenos”, com vistas à produção de, respectivamente, lodo classes A e B. Outras técnicas de tratamento, não oficialmente listadas, têm, entretanto, se mostrado efetivas na higienização de lodo de esgoto, como, por exemplo, a secagem em estufa (COMPARINI 2001; LIMA, 2010). Trata-se de uma técnica de baixo custo e baixa complexidade operacional, em que a cobertura plástica transparente da estufa promove elevação considerável da temperatura (efeito estufa), redução intensa da unidade do lodo e, consequentemente, decaimento microbiano também intenso.

O presente trabalho soma contribuições às de estudos anteriores (COMPARINI 2001; LIMA, 2010), em que se busca avaliar a secagem em estufa como método de higienização de lodo de esgoto.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos na Unidade Integrada de Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários da Violeira, Viçosa – MG (Zona da Mata Norte de Minas Gerais, altitude de 650 m, coordenadas geográficas de $20^{\circ}45'14''$ latitude sul e $42^{\circ}52'54''$ longitude oeste). O sistema de tratamento (ETE Violeira), operado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE Viçosa), é constituído por um conjunto reator UASB (volume = 48 m³ altura = 5,7 m e TDH = 7 h) e biofiltro aerado submerso, ambos em escala real, pré-fabricados em aço (Figura 1A). O lodo produzido no reator UASB era descartado a cada 21 dias em leitos de secagem (duas células paralelas com 2,0 m de largura e 4,0 m de comprimento cada, cobertas com lona plástica transparente - Figura 1B), onde permanecia por cerca de 14 dias. Apesar desse período, o lodo era submetido a tratamento por secagem em estufa (9,0 m de comprimento e 6,0 m de largura; piso impermeável em concreto, mureta de 0,5 m de altura em seu entorno, pilares e arcos metálicos, laterais e cobertura em lona plástica transparente, cortina frontal ajustável com abertura por meio de manivela - Figura 1C), onde era disposto na forma de leiras de aproximadamente 20 cm de altura, e revolvido, manualmente, a cada 15 dias. A Figura 2 mostra o lodo no leito de secagem imediatamente após o descarte do UASB (Figura 2A), e lotes de lodo em diferentes estágios de tratamento na estufa (Figura 2B).

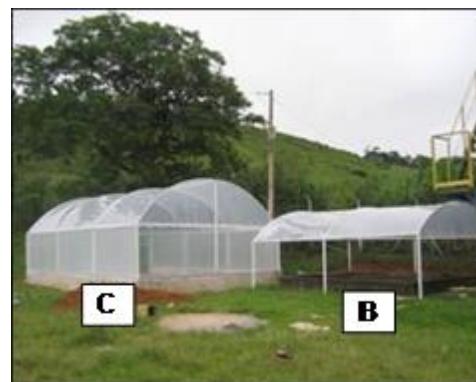


Figura 1 – Unidade Integrada de Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários da Violeira, Viçosa – MG:
 (A) reator UASB e biofiltro aerado submerso. (B) leitos de secagem. (C) estufa de secagem.



Figura 2 - Lodo no leito de secagem imediatamente após o descarte do UASB (A) e lotes de lodo em diferentes estágios de tratamento na estufa (B).

O estudo foi realizado entre fevereiro e setembro de 2010, com acompanhamento de seis lotes de lodo, sendo cada lote referente a uma data de descarte de lodo do reator UASB (Tabela 1). Em cada evento de amostragem, nos leitos de secagem ou na estufa, seis amostras de lodo eram coletadas em posições diferentes abrangendo toda a profundidade, utilizando pá de jardineiro e bandejas de alumínio. Essas amostras eram homogeneizadas, colocadas em sacos plásticos e levadas diretamente ao Laboratório de Controle da Qualidade da Água (LQCA) da Divisão de Água e Esgoto (DAG) da UFV para realização das análises.

Tabela 1 – Identificação dos lotes monitorados e respectivas datas de descarte do reator UASB e de passagem do lodo para a estufa.

Lote de lodo	Data do descarte	Data da passagem do lodo para a estufa
L1	24/02/2010	10/03/2010
L2	08/03/2010	22/03/2010
L3	28/03/2010	11/04/2010
L4	26/04/2010	10/05/2010
L5	23/05/2010	06/06/2010
L6	14/06/2010	28/06/2010

O monitoramento da qualidade do lodo foi realizado em frequência semanal (a partir de um dia após o descarte), com determinação de pH, sólidos totais (ST), umidade e *Escherichia coli*. A determinação de ST foi realizada utilizando os procedimentos descritos no Método 2540 G do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Os teores de umidade foram medidos segundo a metodologia descrita por Andreoli (1999). Os valores de pH foram medidos de acordo com o Método 9045 D, descrito no *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods* (USEPA, 2004). A pesquisa de *Escherichia coli* foi realizada com o método cromogênico-fluorogênico, seguindo as disposições da agência ambiental do Reino Unido (ENVIRONMENTAL AGENCY, 2003). Durante o monitoramento do lodo foi computada a temperatura do ar dentro da estufa utilizando o dispositivo *Intelligent MINI® Temperature Logger*, modelo MI-IN-D-2-L, com registro da temperatura a cada 30 minutos.

O coeficiente de decaimento bacteriano à temperatura (T) de operação (K_{bt}) foi calculado com base nos resultados de *E.coli* obtidos durante o monitoramento do tratamento do lodo na estufa. Esses dados foram rearranjados, de forma a obter o valor negativo do logaritmo neperiano da razão entre contagens de *E.coli* em um dado tempo de tratamento e as contagens iniciais $[-\ln(N/N_0)]$. Por meio de teste de regressão linear entre estes valores e a variável tempo (t), e fazendo com que a reta resultante passasse pela origem, foi obtida equação do tipo $Y=\alpha.X$. Considerando o modelo de decaimento bacteriano segundo cinética de primeira ordem ($N_0 = N \cdot e^{-K_{bt}t}$), o coeficiente angular (α) da equação obtida corresponde ao coeficiente de decaimento bacteriano à temperatura de operação (K_{bt}). O ajuste do modelo obtido aos dados experimentais foi aferido pelo coeficiente de determinação ‘corrigido’ (R_0^2), sugerido por Montgomery et al. (2001), de acordo com a Equação 1. Segundo esses autores, para modelos lineares passando pela origem, com equação da forma $Y=\alpha.X$, o coeficiente de determinação R^2 não é um bom estimador estatístico. Já o coeficiente R_0^2 indica a proporção de variabilidade em torno da origem representada pela regressão, sendo seus valores, ocasionalmente, maiores que

os de R^2 devido ao fato de que R_0^2 é computado usando a soma dos quadrados não corrigida (MONTGOMERY et al, 2001).

$$R_0^2 = \frac{\sum_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

Equação 1

Onde: R_0^2 = coeficiente de determinação ‘corrigido’; \hat{Y} = valores de Y estimados pela equação gerada pela regressão linear; Y = valores de Y observados.

Para a padronização do coeficiente de decaimento para temperatura de 20°C ($K_{b,20}$), utilizando a teoria de Arrhenius (Equação 2), e na ausência de dados de coeficiente de temperatura (θ) para lodos de esgoto, optou-se por aplicar θ igual a 1,07, valor usualmente utilizado para o decaimento de bactérias em corpos d’água (von SPERLING, 2005). O valor de temperatura utilizado foi o da temperatura média do ar dentro da estufa, igual a 28,5°C, calculada a partir dos dados registrados no *data logger*.

$$K_{b,T} = K_{b,20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Equação 2

Onde: $K_{b,20}$ = coeficiente de decaimento bacteriano a 20°C (d^{-1}); $K_{b,T}$ = coeficiente de decaimento bacteriano à temperatura de operação T (d^{-1}); θ = coeficiente de temperatura (adimensional); T = temperatura de operação (°C).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor interpretação dos resultados, os gráficos apresentados nas Figuras 3 a 6 contêm linhas pontilhadas na vertical coincidindo com o 15º dia de tratamento, quando se dava a passagem do lodo do leito de secagem para a estufa. Dessa forma, os dados localizados à esquerda da linha pontilhada se referem ao lodo ainda no leito de secagem, enquanto os dados localizados à direita são de amostras de lodo submetidos à secagem em estufa.

Na Figura 3 nota-se que logo após o descarte do UASB o lodo apresentou variação considerável de pH, com valores entre 5,0 e 7,5. Ao longo do tratamento, percebeu-se acidificação do lodo, sendo que, em todos os lotes, o pH permaneceu sempre abaixo de 7,0 cerca de 25 dias após o descarte (10 dias após passagem para estufa), e se estabilizou entre 5,0 e 6,0 para períodos mais longos de tratamento (acima de 75 dias de tratamento). Na tentativa de modelar a redução do pH ao longo do tempo de tratamento, foi realizado teste de regressão com os dados referentes apenas a secagem do lodo em estufa ($n = 49$). O melhor ajuste foi obtido por uma função exponencial, porém com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,347 (Tabela 2).

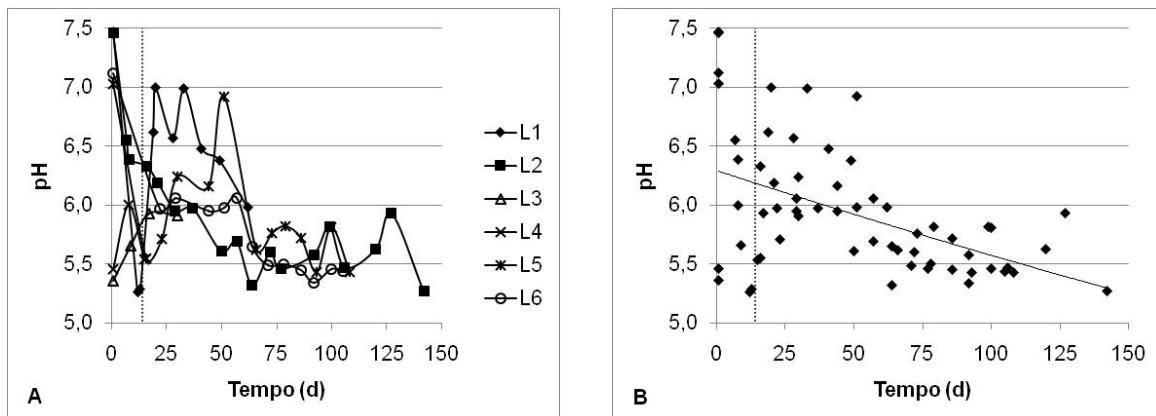


Figura 3 – Valores de pH do lodo em função do tempo (dias): (A) em cada lote; (B) sem distinção de lotes ($n = 61$).

Ao longo do tratamento do lodo percebeu-se forte tendência de decréscimo do teor de umidade (Figura 4). Já nos primeiros 15 dias, enquanto o lodo permaneceu no leito de secagem para desaguamento, nota-se, em alguns lotes, queda acentuada de umidade (Figura 4A): de ≈70% para ≈50% (Lote 3); de ≈80% para ≈60% (Lote 6). Decorridos cerca de 50 dias (35 dias em estufa), os teores de umidade foram inferiores a 40% na quase

totalidade das amostras, e ao final do tratamento, com tempos de 100 dias ou superiores, foram observados valores de umidade tão baixos como 5%. A análise visual dos dados sem distinção de lotes sugere tendência exponencial de decaimento do teor de umidade ao longo do tempo (Figura 4B), e isso se viu confirmado por meio de teste de regressão com os dados referentes à secagem em estufa ($n = 47$), com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,645 (Tabela 2).

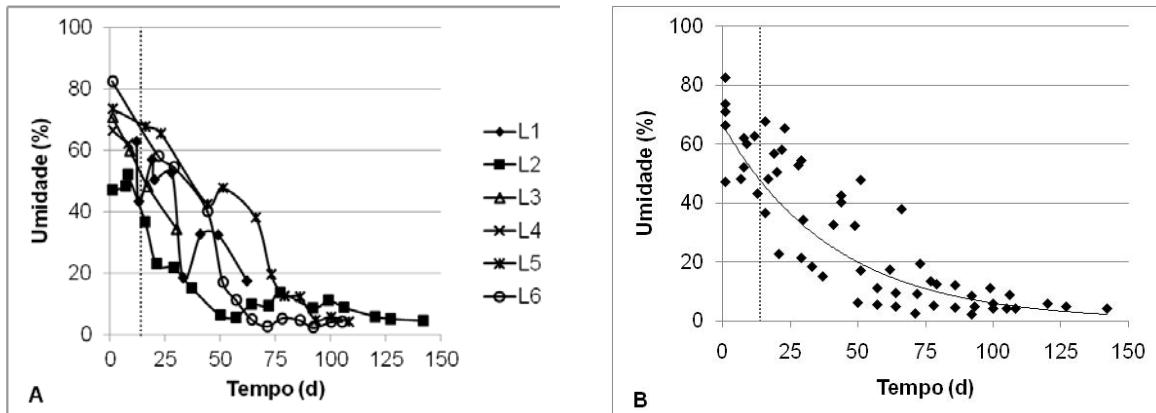


Figura 4 – Teor de umidade (%) do lodo em função do tempo (dias): (A) em cada lote; (B) sem distinção de lotes ($n = 58$).

Naturalmente, a queda de umidade no lodo resultou em incremento nos teores de ST ao longo do tratamento (Figura 5). Os lotes de lodo apresentaram entre 10 e 50% de ST logo após o descarte do reator UASB, e elevação do teor de ST após os 15 dias de permanência no leito de secagem (Figura 5A). Dentro da estufa os teores de ST permaneceram em elevação, atingindo valores tão elevados quanto 90% após cerca de 100 dias de tratamento (Figura 5B). Testes de regressão revelaram variação do teor de ST em função do tempo (na estufa) de acordo com função potencial e R^2 igual a 0,385 (Tabela 2).

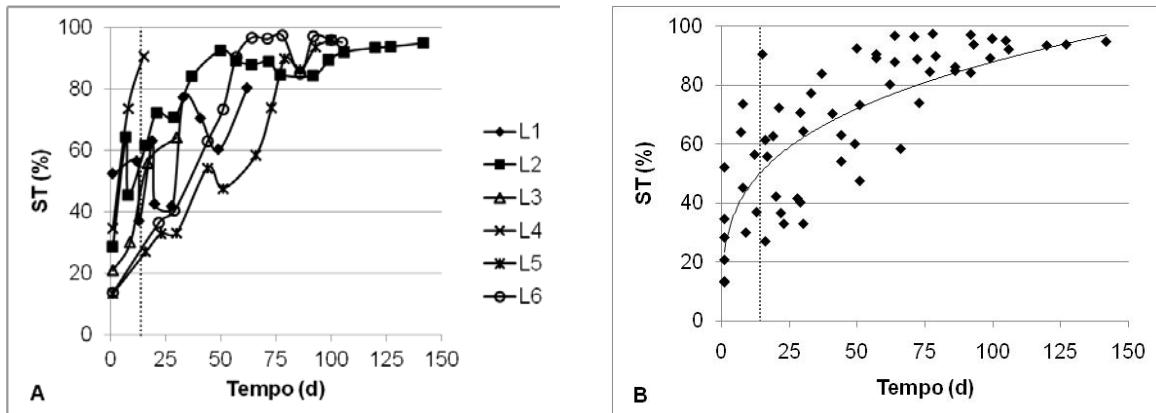


Figura 5 – Teor de sólidos totais (%) do lodo em função do tempo (dias): (A) em cada lote; (B) sem distinção de lotes ($n = 60$).

Os lotes de lodos de esgoto descartados do reator UASB apresentavam 10^5 a 10^7 *E.coli* / gST (Figura 6A). Durante a permanência do lodo no leito de secagem (15 primeiros dias após o descarte) o decaimento de *E.coli* mostrou-se errático, praticamente inexistente em alguns lotes, em outros alcançando cerca de $1-2 \log_{10}$ de remoção (Figura 6A). A partir da transferência do lodo para o tratamento na estufa observou-se decaimento bacteriano mais intenso, sendo que quase todas as amostras apresentaram contagens abaixo de 10^4 *E.coli*/gST após 50 dias de tratamento (35 dias em estufa de secagem). Nos lotes de lodo em que foi possível o acompanhamento por períodos mais prolongados, o decaimento se mostrou variável (Figura 6A): no Lote 2, o decaimento se deu de forma continua e acentuada, com populações remanescentes muito baixas, desde 60 até 142 dias de tratamento; entretanto, nos lotes 5 e 6, após decaimento consistente até cerca de 40 dias, a partir daí populações mais elevadas, da ordem de 10^3 - 10^4 *E.coli*/gST, permaneceram até o final dos experimentos, em aproximadamente 100 dias.

Biossólido com menos que 10^3 *E.coli*/gST (Biossólido Classe A – Resolução CONAMA 375/2006) foi obtido em menos de 50 dias de tratamento durante o monitoramento do lote L2, e pouco acima de 50 dias no lote L1 (Figura 6A). Analisando os resultados sem distinção de lotes (Figura 6B), foram necessários cerca de 75 dias (15 dias no leito de secagem + 60 dias na estufa) para atingir tal padrão.

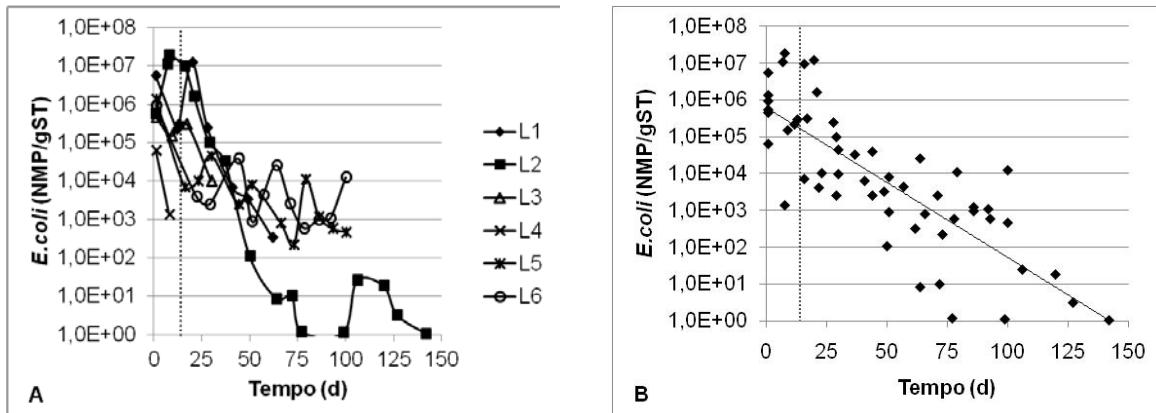


Figura 6 – Contagens de *E. coli* (NMP/gST) no lodo em função do tempo (dias): (A) em cada lote; (B) sem distinção de lotes ($n = 54$).

A modelagem do decaimento de *E.coli* em função do tempo por meio de teste de regressão, utilizando os dados referentes à secagem do lodo na estufa, indicou o ajuste de modelo exponencial com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,562 (Tabela 2). A partir dessa equação, estima-se que concentrações de 10^3 *E.coli* / g ST (Biossólido Classe A) são obtidas, sob as condições do presente estudo, em aproximadamente 55 dias de tratamento por secagem em estufa. Cabe ressaltar que concentrações de *E.coli* acima de 10^6 NMP/gST (Biossólido Classe B) foram encontrados somente em sete das 54 amostras realizadas (13%), em geral logo após o descarte ou decorridos apenas alguns dias após a transferência do lodo para a estufa.

Tabela 2 – Comportamento das variáveis estudadas em função do tempo de secagem em estufa e respectivos coeficientes de determinação obtidos por testes de regressão.

Parâmetro	n	Equação	R^2
pH	49	$pH = 6,215 \exp(-0,001.t)$	0,347
Umidade (%)	47	$Umidade = 46,42 \exp(-0,024.t)$	0,645
ST (%)	48	$ST = 38,60 t^{0,180}$	0,385
<i>E.coli</i> (NMP / g ST)	42	$E.coli = 1,32 \times 10^5 \exp(-0,090.t)$	0,562

De acordo com os procedimentos metodológicos descritos anteriormente, a Figura 7 e a Tabela 3 apresentam, respectivamente, os valores de populações remanescentes de *E.coli* em função do tempo de tratamento na estufa em todos os lotes de lodo, e os coeficientes de decaimento de *E.coli* obtidos, por meio de regressão, para a temperatura média do ar no interior da estufa de 28,5°C, e ajustado para 20°C.

Em função das variações relativamente amplas verificadas no tratamento de cada lote, a modelagem do decaimento de *E.coli* em função do tempo se mostrou apenas razoavelmente explicativa ($R^2=0,562$ - Tabela 2 e $R_{0,2}^2 = 0,60$ - Tabela 3), mas de toda forma os resultados indicam decaimento relativamente intenso de *E.coli* no tratamento do lodo por secagem em estufa, com coeficiente de decaimento (K_{b20}) de, aproximadamente, $0,06 d^{-1}$.

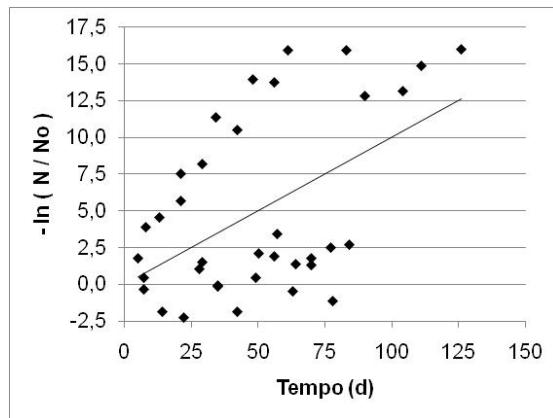


Figura 7 – Populações remanescentes de *E.coli* no em função do tempo de secagem em estufa ($n = 36$).

Tabela 3 – Modelo linear de estimativa de população remanescente de *E.coli* no lodo em função do tempo de secagem em estufa, coeficiente de determinação (R_0^2), e coeficientes de decaimento de *E.coli* para temperatura média do ar na estufa (K_{bT}) e ajustado para 20°C (K_{b20})

Equação	n	$K_{bT} (\text{d}^{-1})$	R_0^2	$K_{b20} (\text{d}^{-1})$
$- \ln (N / N_0) = 0,100 \cdot t$	36	0,100	0,559	0,056

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo confirmam sugestões anteriores que a secagem em estufa constitui método efetivo de higienização de lodo de esgoto. A modelagem do decaimento de *E.coli* indicou que Biossólido Classe A ($10^3 E.coli / \text{g ST}$) foi obtido em aproximadamente 55 dias de tratamento. Os resultados permitiram ainda a modelagem da redução de umidade em função do tempo, o que, dependendo de estudos complementares, poderia ser utilizado como indicador da obtenção de Biossólido Classe A. No caso do presente estudo, com 55 dias de tratamento o biossólido (Classe A) apresentava umidade em torno de 12%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Saneamento de São Paulo (SABESP) pelo financiamento do projeto, ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE-Viçosa) pela parceria, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de bolsas de mestrado e de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema*. 1999. 278p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
2. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st edition. Washington: APHA, 2005.
3. BRASIL - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 30 ago. 2006, Seção 1, p. 141-146.
4. COMPARINI, J. B. *Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa agrícola*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.
5. ENVIRONMENT AGENCY. *The Microbiology of Sewage Sludge* (2003) - Part 3 - Methods for the isolation and enumeration of *Escherichia coli*, including verocytotoxigenic *Escherichia coli*. Methods for the Examination of Waters and Associated Materials. UK, 2003.
6. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – Ano 2000*. Rio de Janeiro: IBG., 2002.

7. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – Ano 2008*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
8. LIMA, M. R. P.. Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
9. MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING. G. G. *Introduction to linear regression analysis*. 3rd edition. New York: John Wiley and Sons Inc. 527p. 2001.
10. NEBRA – NORTH EAST BIOSOLIDS AND RESIDUALS ASSOCIATION. *A national biosolids regulation, quality, end use and disposal survey*. Disponível em <<http://www.nebiosolids.org/uploads/pdf/NtlBiosolidsReport-20July07.pdf>> Acesso em janeiro de 2011.
11. USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods* (SW-846: Method 9045 D – Revision 4). Washington, DC, 2004.
12. USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *The standards for the use or disposal of sewage sludge*. Washington, DC: Federal Register, Code of Federal Regulations [CFR], Title 40, Part 503, 1993.
13. von SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3^a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG). 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1). 2005.