

II-169 - INFLUÊNCIA DA TAXA DE AERAÇÃO NO PROCESSO DE BIOSSECAGEM DE LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Marina da Costa Ribeiro de Almeida ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Mestranda em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Tayná Barros Mazer Lucatti ⁽²⁾

Engenheira Civil pela UFSCar.

Cali Laguna Achon ⁽³⁾

Engenheira Civil pela UFSCar. Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP e Pós-doutora pelo Departamento de Engenharia Civil da UFSCar com bolsa FAPESP. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv-UFSCar) e Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar (PPGEU/UFSCar).

Renan Felício dos Reis ⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), de Presidente Prudente - SP, Mestre e Doutor em Engenharia Urbana pela UFSCar, com desenvolvimento de pesquisa na modalidade doutorado sanduíche na *Universitat Autònoma* de Barcelona (UAB/Espanha). Professor do Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus São Roque.

Jorge Akutsu ⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela EESC/USP. Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento EESC/USP. Professor Adjunto do DECiv-UFSCar.

Endereço⁽¹⁾: Rua Episcopal, 2474, ap 11A - Centro - São Carlos - SP - CEP: 13560-049 - Brasil - Tel: (12) 98229-3426 - e-mail: marina.ribeiro.almeida@gmail.com

RESUMO

O lodo gerado nas estações de tratamento de esgotos (ETE) necessita ser tratado e destinado de forma ambientalmente adequada. O tratamento do lodo consiste na sua estabilização e na redução do seu volume por meio da remoção da água, permitindo a viabilidade e a factibilidade do seu reuso ou reciclagem. Como alternativa de tratamento, tem-se a biossecagem, que reduz a umidade do lodo através do aquecimento gerado pela atividade microbiana. Os fatores que influenciam a biossecagem são: tipo e característica do lodo, teor de umidade inicial, taxa de aeração, proporção de mistura de materiais estruturantes e outros componentes auxiliares (*bulking agents*), seus tipos e características, revolvimento e homogeneização da matriz. Assim, o objetivo da pesquisa foi analisar a influência da taxa de aeração no processo de biossecagem de lodo desaguado gerado em ETE. Foram realizados 2 ensaios de biossecagem, cada um com duração de 20 dias. A taxa de aeração foi mantida constante em 1,0 L/(min.KgST) para o Ensaio 1 e em 2,0 L/(min.KgST) para o Ensaio 2. As matrizes iniciais foram preparadas com lodo desaguado e cavaco de madeira. No quarto dia de ensaio foi adicionada ração na matriz. A cada 4 dias foi realizado o revolvimento da matriz. O Ensaio 1 atingiu temperatura máxima, média e mínima de 39,9°C, 27,4°C e 13,4°C, respectivamente, e o Ensaio 2 atingiu 33,2°C, 23,1°C e 18,6°C, respectivamente. O teor de umidade no Ensaio 1 reduziu 4,2% e no Ensaio 2, 11,2%. O teor de sólidos voláteis (SV) ao longo dos ensaios 1 e 2 apresentou inconsistências, possivelmente amostrais. Contudo, após o quarto dia de ensaio e desconsiderando os valores inconsistentes, houve redução gradativa do valor de SV ao longo do processo, de 61,8 para 54% no Ensaio 1 e de 56,2 para 50,3% no Ensaio 2, atingindo valores compatíveis com o esperado. O teor de sólidos totais no Ensaio 1 aumentou de 28,3 para 32,5% e no Ensaio 2, de 36,7 para 45,4%. Este aumento mais significativo no Ensaio 2 pode ter ocorrido devido à maior taxa de aeração. Conclui-se que a taxa da aeração interfere na temperatura da matriz e na redução do teor de umidade durante a biossecagem. Menor taxa de aeração resultou em temperaturas mais elevadas na matriz e maior taxa de aeração, em maior redução de umidade. Fatores adicionais podem ter influenciado o processo de biossecagem, incluindo os revolvimentos, os materiais estruturantes e componentes auxiliares (*bulking agents*).

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de Esgoto, Biossecagem, Desaguamento, Controle de Processo, Taxa de Aeração.

INTRODUÇÃO

Os processos de tratamento de esgotos geram resíduos sólidos que devem ser tratados e dispostos de forma ambientalmente adequada, como preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS – Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Assim, estes resíduos precisam ser tratados, possibilitando seu reuso ou reciclagem. O lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) apresenta cerca de 95 a 99% de umidade, sendo necessário que este seja desaguado por meio de sistemas naturais ou artificiais, reduzindo o teor de umidade para aproximadamente 70 a 85%, facilitando sua destinação. O lodo desaguado pode ser encaminhado para um processo de secagem térmica, que consiste na evaporação da água utilizando energia natural ou mecânica. Os resultados da secagem térmica são: redução significativa do volume do lodo e do teor de umidade, aliado a possibilidade de redução de agentes patogênicos presentes no lodo (ACHON; KELLNER; AKUTSU, 2017).

A compostagem e a biossecagem são exemplos de processos de secagem térmica natural. A compostagem visa à máxima conversão da matéria orgânica pelos microrganismos para posteriormente ser utilizada na agricultura. Segundo Zhao et al. (2010) e Yang, Zhang e Jahng (2014), o processo de compostagem do lodo possui tempo de duração de 30 a 50 dias, enquanto a duração da biossecagem varia de 7 a 20 dias. O tempo de duração do processo de compostagem é mais elevado, sendo um fator desvantajoso para tratar grandes quantidades de lodo.

A biossecagem (*biodrying*) é um processo recente, similar à compostagem, porém que foi desenvolvido objetivando explorar a energia do lodo. Enquanto a compostagem visa à produção de um composto orgânico para uso agrícola, a biossecagem tem por objetivo produzir um lodo com umidade reduzida preservando parte do poder calorífico e adequando-o para utilização como biocombustível. No processo de biossecagem a degradação aeróbica da matéria orgânica gera calor metabólico e, em conjunto com a aeração forçada, remove água e preserva parte do poder calorífico do lodo (ZHAO et al., 2011; WINKLER et al., 2013; HUILLIÑIR; VILLEGAS, 2015). A biossecagem apresenta-se como um processo promissor para a destinação ambientalmente adequada do lodo e também impacta positivamente no armazenamento e transporte do lodo, devido à sua redução de volume e a sua estabilização (ZHAO et al., 2011; HUILLIÑIR. VILLEGAS; 2015; HAO; YANG; JAHNG, 2018).

Os fatores que podem influenciar o processo de biossecagem são: tipo e característica do lodo, teor de umidade inicial, taxa de aeração, proporção de mistura de material estruturante e outros componentes auxiliares (*bulking agents*), seus tipos e características, revolvimento e homogeneização da matriz (LUCATTI et al., 2017; REIS, 2017; WINKLER et al., 2013).

Segundo Zhao et al. (2011), o lodo de esgoto contém pouca quantidade de material orgânico biodegradável, elevada umidade e baixa porosidade. Portanto, faz-se necessária a utilização de material estruturante e outros componentes auxiliares (*bulking agents*) que ajustem a umidade e a relação C:N, aumentem a porosidade e a quantidade de material biodegradável (ZHAO et al., 2011; REIS, 2017; WINKLER et al., 2013). Exemplos destes materiais/componentes (*bulking agents*) são: serragem, cavaco de madeira, palha, lodo biosseco, pó de café, cascas de arroz, dentre outros (HAO; YANG; JAHNG, 2018).

Estudos foram realizados para a identificação da umidade inicial ótima para o processo de biossecagem. Segundo Yang, Zhang e Jahng (2014) a umidade inicial ótima da matriz de mistura do lodo desaguado com os *bulking agents* para o processo de biossecagem varia entre 50 e 70%. Huilliñir e Villegas (2015) avançaram nessa temática e apontaram que a umidade inicial da matriz de 68% resulta em maiores valores de temperatura e de remoção de umidade.

A taxa de aeração, parâmetro fundamental no processo de biossecagem, tem sido estudada por diversos autores (ZHAO et al., 2010; HUILLIÑIR; VILLEGAS, 2015; LUCATTI et al., 2017; WU et al., 2018). Esta taxa afeta a temperatura da matriz e pode influenciar a evaporação de água. Pesquisas recentes mostram que valores elevados desta taxa podem fazer com que a matriz não atinja a fase termofílica e, conseqüentemente, a secagem pode ocorrer predominantemente por fenômenos físicos. Em contrapartida valores baixos da taxa de aeração podem ser insuficientes para o processo aeróbio, não ocorrendo acréscimo de temperatura. Assim, é fundamental no processo de biossecagem a adequação da taxa de aeração.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar a influência da taxa de aeração no processo de biossecagem de lodo desaguado gerado em Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

MATERIAIS E MÉTODOS

O esquema do sistema de biossecagem utilizado neste trabalho é apresentado na Figura 1. Consiste de um reator de chapa de inox com isolamento térmico nas paredes, fundo e tampa em material refratário, objetivando evitar a perda de temperatura para o ambiente. Dispõe de sistema de medição de temperatura e aquisição de dados, compressor de ar e rotâmetro para controle da vazão de alimentação de ar. O reator possui pontos para entrada de ar, saída de ar e conexão do sensor de temperatura.

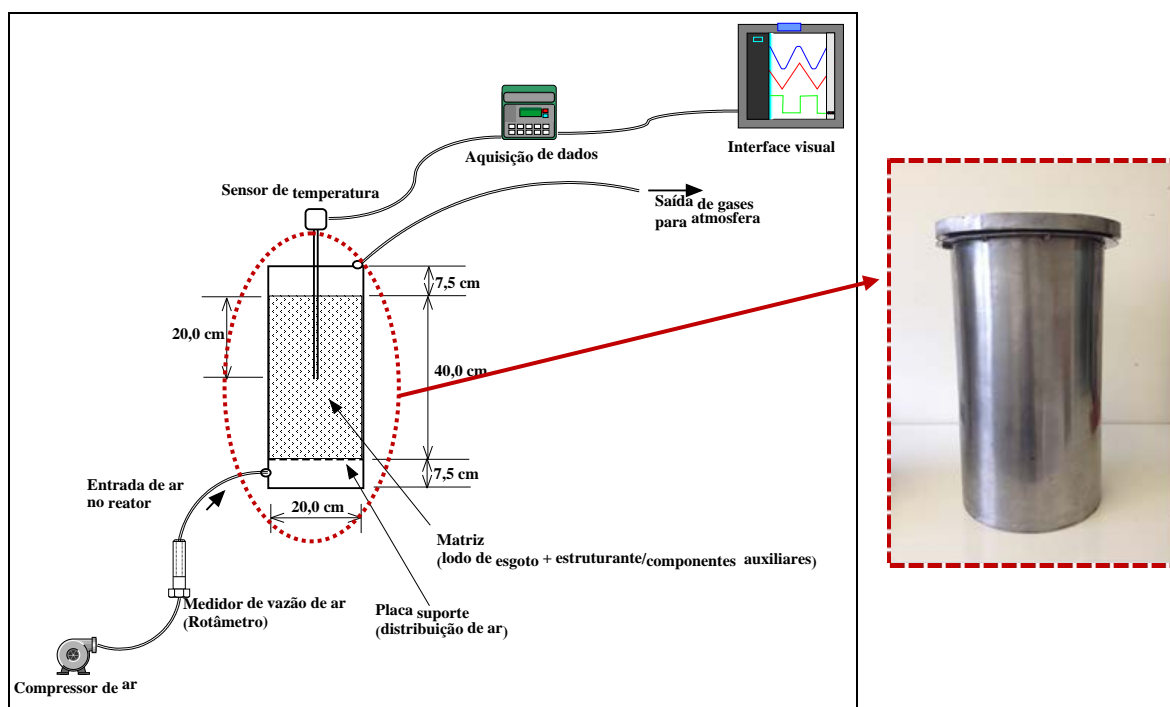


Figura 1: Esquema do sistema de biossecagem com detalhe do reator utilizado nos ensaios.

As amostras de lodo desaguado foram coletadas em uma ETE localizada no interior do Estado de São Paulo que trata em média 457 L/s e gera cerca de 45 ton/dia de lodo desaguado, com aproximadamente 23% de Sólidos Totais (ST), que equivale a 77% de umidade. Esta estação possui tratamento anaeróbio por reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) seguido de processo físico-químico, sendo que o lodo desaguado foi coletado após o sistema de desaguamento mecânico (centrífuga).

Foram realizados dois ensaios de biossecagem, variando a taxa de aeração, sendo que cada ensaio teve duração de 20 dias. A taxa de aeração foi mantida constante em 1,0 L/(min.KgST) para o Ensaio 1 e em 2,0 L/(min.KgST) para o Ensaio 2.

As matrizes utilizadas nos ensaios foram preparadas com lodo desaguado mais cavaco de madeira e ração. No início dos ensaios foi adicionado apenas a cavaco de madeira com 10% em termos mássicos em base úmida, formando a matriz inicial do processo de biossecagem. Em função dos resultados iniciais, que não apresentaram acréscimos de temperatura na matriz inicial, no quarto dia de ensaio (durante o primeiro revolvimento) foi adicionada ração na matriz com 10% em termos mássicos em base úmida, resultando na matriz modificada.

O revolvimento da matriz foi realizado em intervalos de 4 dias, objetivando sua homogeneização. Durante todo o período dos ensaios, a temperatura no interior dos reatores foi monitorada automaticamente por um sensor programado para realizar essa medição a cada 2 minutos.

Foram determinados os teores de sólidos totais (ST%), sólidos voláteis (SV%) e umidade (U%) das amostras do lodo desaguado, da matriz inicial, da matriz ao longo dos ensaios (coletadas a cada revolvimento) e da matriz final de cada ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados as informações e os valores dos parâmetros para as condições iniciais dos dois ensaios realizados.

Tabela 1: Valores dos parâmetros para as condições iniciais dos ensaios realizados.

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2
Taxa de aeração [L/(min.KgST)] ⁽¹⁾	1,0	2,0
Data de revolvimento [dia]	4º, 8º, 12º e 16º	4º, 8º, 12º e 16º
Duração do experimento [dia]	20	20
Umidade inicial do lodo desaguado [%]	77,6	72,7
Sólidos totais do lodo desaguado [%]	22,4	27,3
Sólidos voláteis do lodo desaguado [%]	54,0	46,6
Porcentagem mássica de cavaco de madeira [%] ⁽²⁾	10	10
Massa da matriz inicial (lodo + cavaco) [Kg] ⁽²⁾	4,268	5,006
Umidade da matriz inicial (lodo + cavaco) [%]	71,7	65,8
Sólidos Totais da matriz inicial (lodo + cavaco) [%]	28,3	34,2
Sólidos Voláteis da matriz inicial (lodo + cavaco) [%]	61,9	52,7

Nota: ⁽¹⁾ b.s.: base seca; ⁽²⁾ b.u.: massa em base úmida.

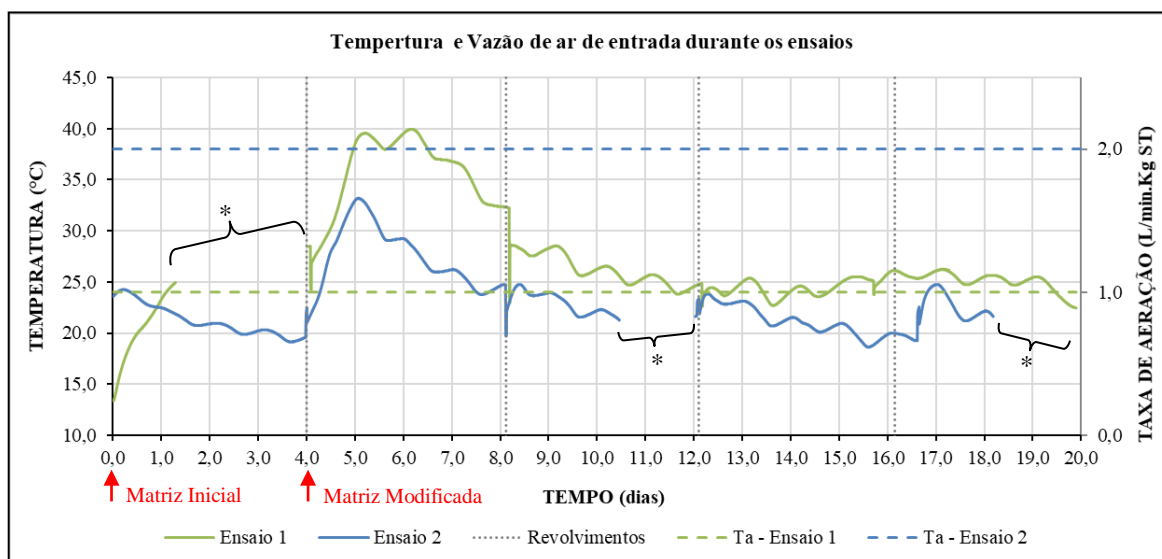
São apresentadas, na Tabela 2, as informações da matriz modificada (lodo + cavaco + ração) no quarto dia de ensaio, após a adição da ração.

Tabela 2: Valores dos parâmetros após a adição de ração para os dois ensaios realizados.

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2
Porcentagem mássica de ração [%] ⁽¹⁾	10	10
Massa da matriz modificada [Kg] ⁽¹⁾	4,67	5,282
Umidade da matriz modificada [%]	68,7	63,3
Sólidos Totais da matriz modificada [%]	31,3	36,7
Sólidos Voláteis da matriz modificada [%]	61,8	56,2

Nota: ⁽¹⁾ b.u.: massa em base úmida.

Na Figura 2 tem-se o gráfico da evolução da temperatura em função da taxa de aeração para os ensaios 1 e 2. O Ensaio 1, com taxa de aeração de 1,0 L/min.KgST, atingiu temperatura máxima de 39,9°C, temperatura média 27,4°C e temperatura mínima 13,4°C. Já o Ensaio 2, com taxa de aeração de 2,0 L/min.KgST, atingiu temperatura máxima de 33,2°C, temperatura média 23,1°C e temperatura mínima 18,6°C. Zhao et al. (2010) dividem os estágios da biossecagem de acordo com a temperatura em: Termofílico (45 a 55°C), Moderado (40 a 45°C) e Resfriamento (> 30°C). Tanto o Ensaio 1 como o Ensaio 2 não atingiram o estágio termofílico, porém o Ensaio 1, com vazão menor, atingiu temperaturas bem próximas ao estágio moderado.



Nota: * Falha na leitura do sensor de temperatura; Ta: taxa de aeração.

Figura 2: Evolução da temperatura da matriz em função das taxas de aeração para os ensaios 1 e 2.

De acordo com a Figura 2, após o primeiro revolvimento (quarto dia) e a adição da ração, a temperatura da matriz se elevou atingindo entre o quinto e sexto dia as temperaturas máximas em ambos os ensaios, sendo mais significativa no Ensaio 1 com menor taxa de aeração. Além disso, a temperatura máxima no Ensaio 1, que alcançou 39,9°C, foi superior as reportadas por Lucatti et al. (2017), que realizou seis ensaios utilizando matriz com lodo anaeróbico e cavaco de madeira, sendo as temperaturas máximas reportadas pelos autores entre 28 a 33,75°C.

Os resultados apresentados na Figura 2, mostram que o revolvimento é outro fator que corrobora com a elevação da temperatura. Tal fato ocorre, pois no processo de biossecagem há formação de aglomerados com elevada umidade, reduzindo a transferência de ar para matriz, além da formação de caminhos preferenciais. Ao realizar o revolvimento, a matriz torna-se mais homogênea, fomentando a degradação microbiana e por consequência o aumento da temperatura.

Na Figura 3 tem-se a evolução do teor de umidade da matriz para os ensaios 1 e 2.

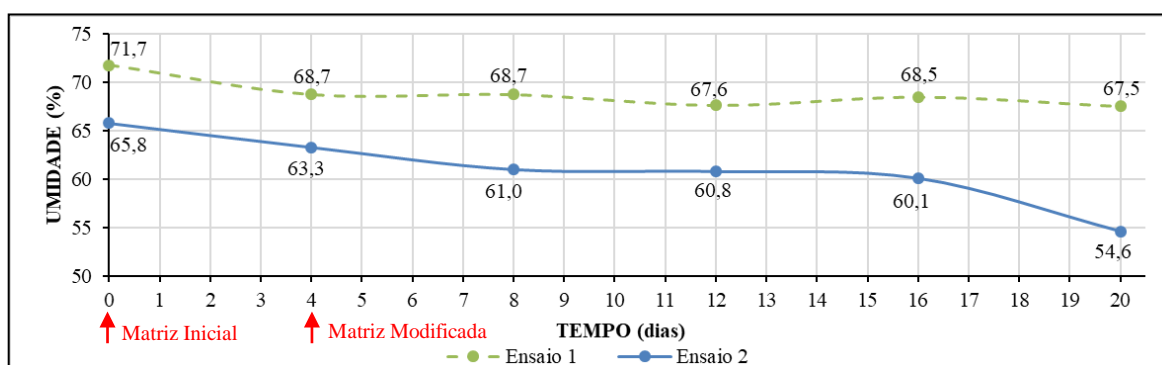


Figura 3: Evolução do teor de umidade da matriz para os ensaios 1 e 2.

Observa-se no gráfico apresentado na Figura 3 que a variação do teor de umidade ao longo do Ensaio 1 foi de 4,2 pontos percentuais, atingindo no final do ensaio 67,5% de umidade, portanto muito aquém do esperado. Já a variação do Ensaio 2 foi de 11,2 pontos percentuais apresentando, portanto, uma redução mais significativa e chegando a 54,6% de umidade, próximo ao valor esperado e compatível com a necessidade mínima de um processo biológico, que requer teor de umidade mínimo em torno de 50%.

De acordo com Huiliñir e Villegas (2015), o processo de biossecagem com teor de umidade de cerca de 68% resultou em maiores valores de temperatura e de remoção de umidade. Analisando conjuntamente as Figuras 2 e 3, o Ensaio 1 que foi realizado com menor taxa de aeração (1,0 L/min.KgST) e teor de umidade na faixa de 68% considerando a matriz modificada, embora tenha resultado em maiores elevações de temperatura, ao contrário do esperado e contrapondo os resultados de Huiliñir e Villegas (2015), não resultou em reduções significativas do teor de umidade, que se manteve praticamente constante após o quarto dia. O Ensaio 2, conduzido com maior taxa de aeração (2,0 L/min.KgST) e teor de umidade inicial mais baixo, de cerca de 63% considerando a matriz modificada, resultou em menores elevações de temperatura, porém em reduções mais significativas do teor de umidade.

Na Figura 4 tem-se a evolução do teor de sólidos voláteis da matriz para os ensaios 1 e 2.

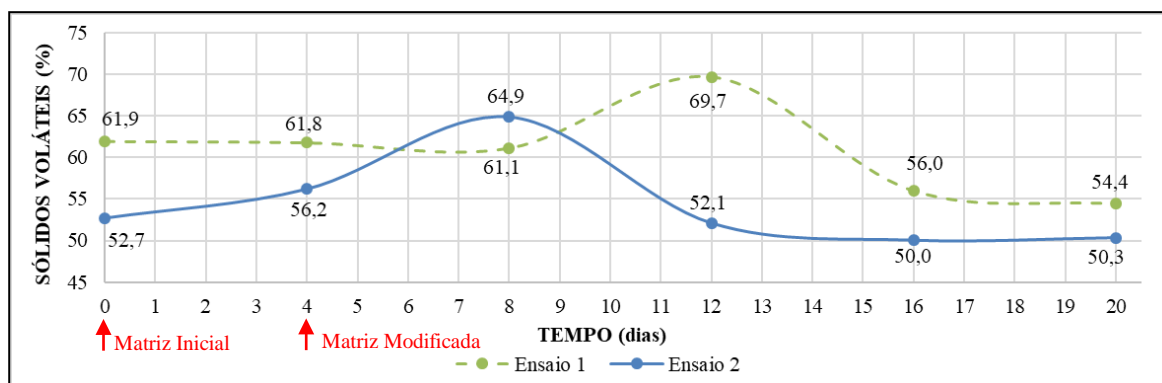


Figura 4: Evolução do teor de sólidos voláteis da matriz para os ensaios 1 e 2.

Analisando de forma global a Figura 4, o teor de sólidos voláteis ao longo do processo para os ensaios 1 e 2 apresentou inconsistências em sua evolução, para o Ensaio 1 no décimo segundo dia (69,7% de SV) e para o Ensaio 2 no oitavo dia (64,9% de SV), pois o esperado seria a ocorrência de uma redução gradativa do teor de sólidos voláteis (SV) a partir do quarto dia (matriz modificada). Tal inconsistência pode ter ocorrido devido aos erros amostrais.

Analisando a Figura 4, após o quarto dia de ensaio (matriz modificada) e desconsiderando os dois valores inconsistentes citados, pode-se inferir que houve redução gradativa do valor de SV ao longo do processo, de 61,8 para 54% no Ensaio 1 e de 56,2 para 50,3% no Ensaio 2, atingindo valores finais compatíveis com o esperado. Na Figura 5 tem-se a evolução do teor de sólidos totais da matriz para os ensaios 1 e 2.

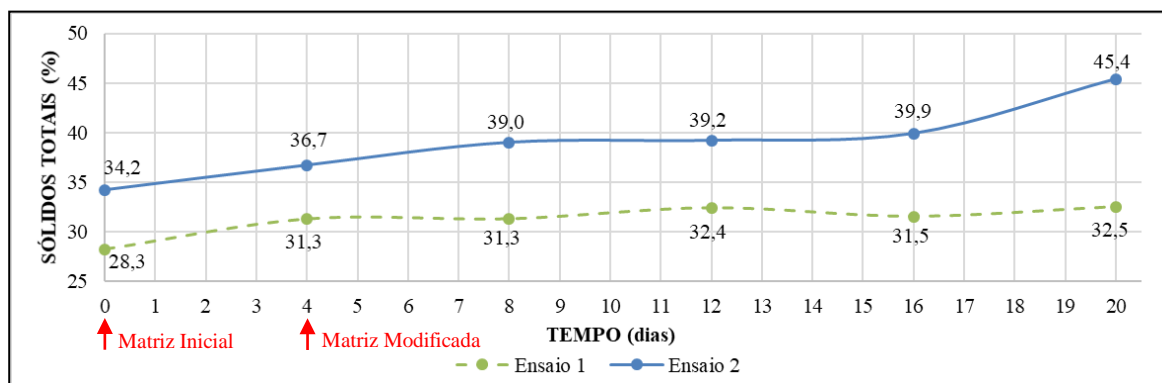


Figura 5: Evolução do teor de sólidos totais da matriz para os ensaios 1 e 2.

Na Figura 5, nota-se que houve um aumento mais significativo do teor de sólidos totais no Ensaio 2, com maior taxa de aeração (2,0 L/min.KgST) mesmo atingindo temperaturas inferiores. O teor de sólidos finais de 45,4% obtido no Ensaio 2 pode ter ocorrido devido à maior taxa de aeração. Neste caso atribui-se que a secagem (remoção de água) além do processo biológico, tenha sido incrementada por fenômenos físicos.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a taxa da aeração interfere na evolução da temperatura da matriz durante o processo de biossecagem e também na redução do teor de umidade. A partir dos ensaios realizados, constatou-se que menor taxa de aeração resultou em temperaturas mais elevadas na matriz. Por outro lado, maior taxa de aeração resultou em maior redução de umidade, em decorrência do processo biológico e incrementado por processos físicos de secagem da matriz.

Fatores adicionais podem ter influenciado o processo de biossecagem, incluindo os revolvimentos, os materiais estruturantes e componentes auxiliares (*bulking agents*). A incorporação do componente auxiliar (ração) e as operações de revolvimento, que tornaram a matriz mais homogênea, favoreceram a elevação da temperatura ao longo do processo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (concessão de bolsa de iniciação científica) para realização desta pesquisa. Além disso, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo FAPESP N°. 2016/12981-4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHON, C. L., KELLNER, E., AKUTSU, J. Subsídios para a gestão de esgotamento sanitário: abordagem da fase sólida. In: AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. et. al. (Org.). Recursos Hídricos gestão e sustentabilidade. 2. ed., p. 224, Tupã: ANAP, 2017.
2. BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010.
3. HAO, Z., YANG, B., JAHNG, D. *Spent coffee ground as a new bulking agent for accelerated biodrying of dewatered sludge*. *Water Research*, v. 138, p. 250-263, 2018.
4. HUILLIÑIR, C., VILLEGAS, M. *Simultaneous effect of initial moisture content and airflow rate on biodrying of sewage sludge*. *Water Research*, v. 82, p. 118-128, 2015.
5. LUCATTI, T. B. M., ACHON, C. L., REIS, R. F., CORDEIRO, J. S., AKUTSU, J. Estudo do Processo de Biossecagem de Lodo de ETE. In: 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017, São Paulo. Rio de Janeiro: ABES, 2017.
6. REIS, R. F. Sistema de Remoção de Água de Lodo Gerado em Estação de Tratamento de Esgoto com Duas Fases: Desaguamento Inicial em Leito de Drenagem Seguido de Biossecagem. São Carlos, SP, 2017. p. 256. Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, 2017.
7. WINKLER, M. -K.H., BENNENBROEK, M. H., HORSTINK, F. H., VAN LOOSDRECHT, M. C. M., VAN DE POL, G. -J. *The biodrying concept: An innovative technology creating energy from sewage sludge*. *Bioresource Technology*, v. 147, p. 124-129, 2013.
8. WU, Z-Y., CAI, L., KRAFFT, T., GAO, D., WANG, L. *Biodrying performance and bacterial community structure under variable and constant aeration regimes during sewage sludge biodrying*. *Drying Technology*, v. 36, p. 84-92, 2018.
9. YANG, B., ZHANG, L., JAHNG, D. *Importance of initial moisture content and bulking agent for biodrying sewage sludge*. *Drying Technology*, v. 32, p. 135-144, 2014.
10. ZHAO, L., GU, W-M., HE, P-J., SHAO, L-M. *Biodegradation potential of bulking agents used in sludge bio-drying and their contribution to bio-generated heat*. *Water Research*. v.45, p. 2322-2330, 2011.
11. ZHAO, L., GU, W-M., HE, P-J., SHAO, L-M. *Effect of air-flow rate and turning frequency on bio-drying of dewatered sludge*. *Water Research*. v.44, p. 6144-6152, 2010.