

II- 879 - LODOS ANAERÓBIO E AERÓBIO EM SISTEMA UASB COM FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR DE BAIXA TAXA: COMPORTAMENTO DO CICLO DE DESAGUAMENTO

Bruna Rocha de Oliveira-Avellar⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado do Amapá. Mestre em Ciência do Solo na Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutoranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental no (PPGERHA/UFPR).

Marcos André Capitulino de Barros Filho⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Sanitária (UFRN). Professor do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Doutorando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental no (PPGERHA/UFPR).

Gerônimo da Silva de Oliveira⁽²⁾

Técnico Operacional da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Cleverson Roberto Bogo⁽²⁾

Engenheiro Civil, Coordenador de Gerência de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Miguel Mansur Aisse⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre e Doutor em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento (USP). Professor Sênior do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA/UFPR).

Endereço⁽¹⁾: Centro Politécnico da UFPR, Bloco V, Jardim das Américas, Curitiba - PR, CEP: 82590-300 - Brasil - Tel: (41) 3361-3210 - e-mail: bruna-roccha@hotmail.com

RESUMO

O desaguamento do lodo de esgoto consiste em etapa de processamento que possibilita a remoção da umidade e consequente redução da massa e volume do lodo a ser tratado ou descartado da estação de tratamento, sendo a seleção do tipo de processo de desidratação do lodo dependente de fatores, como o porte da estação de tratamento e tecnologia implantada, disponibilidade de área, condições climáticas e destinação final do lodo. Este estudo foi realizado com objetivo de comparar o desaguamento, em leitos de secagem, de lodo anaeróbico, advindo do reator UASB, e lodo aeróbico, advindo de Filtro Biológico Percolador de Baixa Taxa (FBP), unidades de tratamento e de pós-tratamento que compõem uma mesma matriz de tratamento de esgoto, localizada no sul do Brasil. O lodo dos reatores UASB (estabilizado e adensado) e dos FBP de baixa taxa (adensado no Decantador Secundário) são dispostos separadamente em leitos de secagem, cobertos com filme agrícola transparente para estufa. Os leitos para o lodo anaeróbico são forrados com tecido tecnológico (manta geotêxtil), o que não ocorre nos leitos para o lodo aeróbico, que emprega leito tradicional granular (areia e brita) coberto com lajotas de concreto. Os resultados exibiram média do teor de sólidos de 7,69% (76,90 g.L⁻¹) no lodo anaeróbico e 6,97% (69,68 g.L⁻¹) no lodo aeróbico. As proporções de sólidos voláteis no lodo anaeróbico (UASB) foi 56% e no lodo aeróbico foi 52%. Foi observado, ainda, que para um tempo ciclo semelhante dos lodos anaeróbico e aeróbico (média de 24 dias), houve maior desaguamento do lodo anaeróbico, chegando ao teor de sólidos de 31%, enquanto que o lodo aeróbico atingiu teor de sólidos de 30%, ainda não estatisticamente significativo.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo de Secagem em Leito, Leito de Secagem, Tratamento de Esgotos.

INTRODUÇÃO

Uma grande quantidade de lodo é produzida em estações de tratamento de esgoto em todo o mundo e a tendência é de aumento contínuo como consequência do crescimento populacional e aumento da cobertura do sistema de esgotamento sanitário (FLAGA, 2005; LIEW et al., 2021). Em meados de 2007 os países europeus estavam gerando cerca de 10,13 milhões de toneladas de lodo de esgoto, em termos de matéria seca, com previsão de aumento para cerca de 13 milhões de toneladas até 2020 (EUROPEAN COMMISSION, 2008).

O desaguamento do lodo de esgoto consiste em etapa de processamento que possibilita a remoção da umidade e consequente redução da massa e volume do lodo a ser tratado ou descartado da estação de tratamento (VON SPERLING *et al.*, 2014). Sendo assim, esta etapa tem impacto importante nos custos de transporte e destino final, bem como facilita o manuseio do lodo, tendo em vista que o seu comportamento mecânico varia em função do teor de sólidos (GONÇALVES *et al.*, 2014).

A remoção da umidade pode acontecer por processos naturais e mecanizados. A seleção do tipo de processo de desidratação do lodo depende fatores, como: porte da estação de tratamento e tecnologia implantada, disponibilidade de área, condições climáticas e destinação final do lodo. De acordo com JORDÃO e PESSÔA (2011), utilizam-se equipamentos para secagem mecanizada, tais como filtros prensa e centrífugas, em situações em que há produção excessiva de lodo e pequena disponibilidade de área, características típicas de estações de médio e grande porte situadas em regiões metropolitanas. Tais equipamentos são capazes de produzir um lodo seco com cerca de 20% a 30% de teor de sólidos.

Por outro lado, em regiões onde não há restrições quanto a disponibilidade de área os leitos de secagem consistem em alternativa adequada, haja a vista ser unidades que requerem maior área superficial para instalação, ao tempo que demandam baixo custo de energia e de produtos químicos, quando necessários, bem como apresentam baixa complexidade operacional e de manutenção (METCALF, EDDY, 2016). Após desaguamento em leitos de secagem, o lodo apresenta cerca de 30% a 40% de teor de sólidos, podendo ser obtidos valores maiores a depender do tempo de ciclo e das condições ambientais, como temperatura e umidade do ar (JORDÃO, PESSÔA, 2011; VON SPERLING *et al.*, 2014).

Interessante destacar que não há uma definição clara na literatura quanto a viabilidade de processos naturais de secagem do lodo em leitos de secagem em relação a vazão afluente à ETE, sendo observada grande variação dos valores indicados. Um estudo recente desenvolvido por AISSE e CERQUEIRA (2021) avaliou os custos de implantação (CAPEX) e de operação (OPEX) de diferentes alternativas de processamento de lodo, em estações com reatores anaeróbios do tipo UASB e pós-tratamento aeróbio, e concluiu que, considerando CAPEX+OPEX, os leitos de secagem mostraram-se como alternativa mais econômica para a faixa de vazão entre 5 e 160 L.s⁻¹ em detrimento a processos mecanizados com centrífugas.

O desaguamento natural em leitos de secagem sofre influência do clima e do grau de estabilização do lodo. Para diminuir a influência das chuvas no ciclo de secagem, os leitos podem ser cobertos, porém com aberturas laterais para facilitar a evaporação (ANDREOLI, FERREIRA, 1999). A evaporação da água presente no lodo será mais intensa em condições em que a temperatura é alta, a umidade do ar é baixa e há vento suficiente para assegurar renovação adequada do ar acima do leito. Por outro lado, quanto menor a fração de sólidos biodegradáveis no lodo, isto é, quanto mais estável, maior será a facilidade para secar o lodo a uma taxa elevada (VAN HAANDEL, LETTINGA, 1994, FLAGA, 2005).

Essa taxa é função do teor de umidade do lodo, do tempo de ciclo de secagem e da altura da camada de lodo a ser aplicada. De acordo com a NBR 12209 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011, p. 40), a taxa de aplicação superficial no leito de secagem não pode exceder a carga de sólidos em suspensão totais de 15 kg.m⁻² de área de secagem, em cada ciclo de operação, com vistas a não prejudicar o processo de desaguamento. No entanto, a depender do teor de sólidos no lodo a ser desaguado, essa carga máxima de sólidos implicaria em altura de lodo sobre a camada drenante superior ao valor máximo indicado na norma de 0,35 m.

O tipo de lodo tem forte influência sobre a quantidade de produto químico necessária para o seu condicionamento. A dosagem de produto químico utilizada para o condicionamento de excesso de lodo ativado digerido aerobicamente é maior que aquela aplicada em um lodo primário digerido anaerobicamente (METCALF, EDDY, 2016). A capacidade de desaguamento também varia de acordo com o tipo de lodo: um lodo ativado apresenta desaguamento mais difícil em comparação a um lodo primário digerido anaerobicamente (GONÇALVES *et al.*, 2014). Lodos provenientes de processos com idade de lodo elevada retêm mais água do que lodos de processos com idade de lodo menor, e lodos intumescidos ou com organismos filamentosos retêm mais líquido do que lodos não intumescidos (VON SPERLING *et al.*, 2014).

O presente trabalho objetivou comparar o desaguamento, em leitos de secagem, de lodo anaeróbio advindo do reator UASB, e lodo aeróbio advindo de Filtro Biológico Percolador de Baixa Taxa, unidades de tratamento e de pós-tratamento que compõem uma mesma matriz de tratamento de esgoto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição do local de estudo e matriz de tratamento

O estudo foi realizado em Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) localizada em município da região sul do Brasil. O clima local é classificado como subtropical, com estações do ano bem definidas e temperaturas médias que variam de 8,9 °C nos meses mais frios a 26,5 °C nos meses mais quentes. A precipitação anual no município varia de 1400 a 1600 milímetros e a umidade relativa do ar não apresenta amplas variações durante o ano (média de 82%) (MARIN, 2002).

A estação é operada pela Companhia Estadual de Saneamento desde 1995, com vazão de operação de $56,2 \pm 19,0 \text{ L.s}^{-1}$ (CORRÊA, 2019) e vazão de projeto de 90 L.s^{-1} . A matriz de tratamento opera com 02 (dois) reatores anaeróbios de manto de lodo tipo UASB, com volume útil de 800 m^3 cada, 02 (dois) Filtros Biológicos Percoladores (FBP) de baixa taxa com 1.140 m^3 cada, 22 metros de diâmetro, altura útil de 3 metros e área superficial total de 760 m^2 . Os filtros são preenchidos com pedra basáltica tipo 4, e são seguidos por 02 (dois) decantadores secundários circulares (20 m de diâmetro).

O fluxo de tratamento na ETE objeto desse estudo se inicia pela degradação anaeróbia da matéria orgânica, ocorrente nos reatores do tipo UASB. Na sequência, o efluente segue para o FBP de baixa taxa, onde ocorre a degradação aeróbia da matéria orgânica residual e nitrificação parcial do efluente proveniente dos reatores anaeróbios. Após o tratamento aeróbio, o efluente segue para os decantadores secundários, onde também ocorre a aplicação de policloreto de alumínio para auxiliar no processo de sedimentação e remoção dos sólidos resultantes do tratamento (Figura 1).

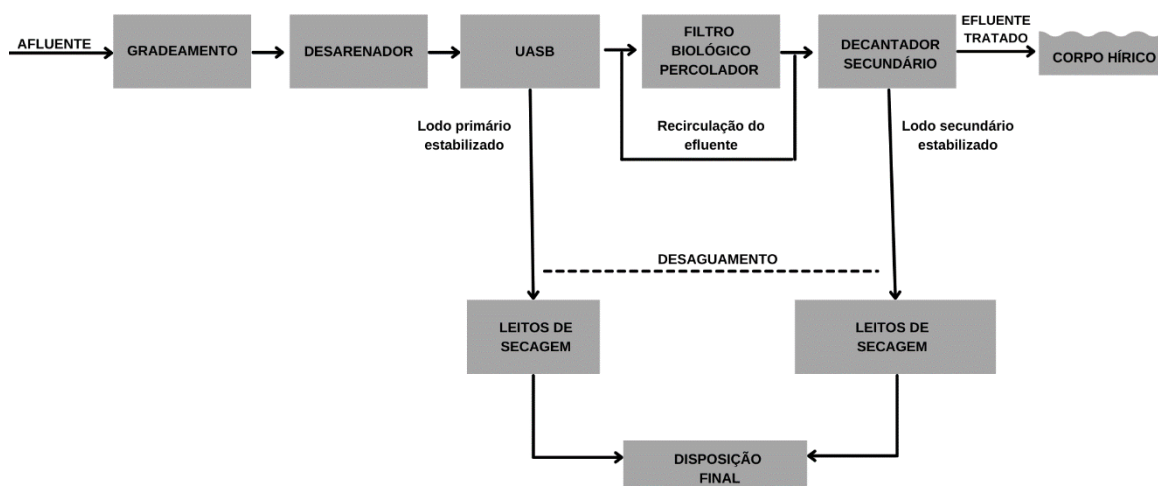


Figura 1: Fluxograma de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada na região sul do Brasil, composta por reator UASB e FBP de baixa taxa, englobando fluxo de tratamento do efluente líquido e leitos de secagem (desaguamento).

Na fase sólida do tratamento, o lodo dos reatores UASB (estabilizado e adensado) e dos FBP de baixa taxa (adensado no Decantador Secundário) são dispostos separadamente em leitos de secagem, cobertos com filme agrícola transparente para estufa. Na configuração da ETE, 4 leitos são reservados para desaguamento do lodo anaeróbio (0,6 x 5,0 x 10,0 m – altura x largura x comprimento) e 11 leitos para o lodo aeróbio (0,5 x 5,0 x 10,0 m – altura x largura x comprimento), com capacidades volumétricas unitárias de 30 m^3 e 25 m^3 , respectivamente (Figura 2).



Figura 2: Leitos de secagem de lodo aeróbio (A e B) e anaeróbio (C e D) em matriz de tratamento com reatores UASB e Filtro Biológico Percolador de baixa taxa, localizada na região sul do Brasil.

Os leitos para o lodo anaeróbio são forrados com tecido tecnológico (manta geotêxtil) (Figura 2, C e D), o que não ocorre nos leitos para o lodo aeróbio, que emprega leito tradicional granular (areia e brita) coberto com lajotas de concreto.

Caracterização do lodo e monitoramento dos ciclos de secagem

A caracterização do lodo proveniente dos sistemas anaeróbio (reator UASB) e aeróbio (FBP) foi realizada por meio da quantificação, realizada em duplicata, de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis, sendo adotada a metodologia 2450 Solids - 2450G, aplicada a amostras de sólidos e semissólidos, descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Foram coletadas amostras para análise no período de 19/10/2022 a 20/03/2023, totalizando 7 ciclos de caracterização.

Para monitoramento do comportamento de secagem do lodo, foram realizadas medições periódicas da altura do lodo nos leitos de secagem (em centímetros). Foram realizados dois ciclos de monitoramento, sendo o primeiro entre os meses de outubro e novembro de 2022 (primavera) e o segundo entre os meses de janeiro e fevereiro de 2023 (verão). Estes períodos consistem nos dias entre a alocação do lodo, secagem (processo natural) e remoção do lodo dos leitos de secagem, sequencialmente direcionados para disposição final.

Concomitante às medições da altura do lodo, também foram realizadas análises do teor de sólidos (%) nas amostras de lodo anaeróbio e aeróbio por meio de equipamento de medição automática de sólidos (Sartorius®). Com base no teor de sólidos, calcularam-se ainda as cargas de sólidos aplicadas sobre os leitos de secagem.

Os procedimentos foram realizados sempre no mesmo horário, entre 9h e 10h da manhã. Também foram observadas e registradas as condições climáticas, como ocorrência de precipitação e registro de temperatura local.

RESULTADOS

Caracterização do lodo

Os resultados obtidos a partir da análise (em laboratório) do lodo bruto que segue para desaguamento nos leitos de secagem, exibiram média do teor de sólidos de 7,69% ($76,90 \text{ g.L}^{-1}$) no lodo anaeróbio e 6,97% ($69,68 \text{ g.L}^{-1}$) no lodo aeróbio. A proporção de sólidos voláteis no lodo anaeróbio (UASB) foi 56% e no lodo aeróbio (FBP) foi 52%. A relação entre sólidos voláteis e sólidos totais indica a fração de orgânica do lodo, bem como o nível de digestão deste, esperando-se que os valores para sólidos digeridos estejam situados abaixo 0,60

(ANDREOLLI, *et al.*, 2014). Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com a proposta de produção de lodo estabilizado dos sistemas UASB e FBP de baixa taxa.

Tabela 1: Caracterização do lodo aeróbio e lodo anaeróbio aplicado nos Leitos de Secagem.

Tipo de lodo	Data	ST (g.L ⁻¹)	STF (g.L ⁻¹)	STV (g.L ⁻¹)	Umidade (%)	Teor de sólidos (%)	Relação STV/ST
anaeróbio	19/10/2022	76,34	38,95	37,39	92,37	7,63	0,49
aeróbio		54,16	27,03	27,12	94,58	5,42	0,50
anaeróbio	21/12/2022	32,92	17,66	15,25	96,71	3,29	0,46
aeróbio		56,03	31,30	24,73	94,40	5,60	0,44
anaeróbio	31/01/2023	55,57	27,79	27,78	94,44	5,56	0,50
aeróbio		40,89	23,08	17,81	95,91	4,09	0,44
anaeróbio	11/02/2023	61,04	30,76	30,29	93,90	6,10	0,50
aeróbio		68,86	37,49	31,37	93,11	6,89	0,46
anaeróbico	23/02/2023	125,64	2,10	10,47	84,92	12,56	0,98
aeróbio		89,10	29,81	59,29	91,09	8,91	0,66
anaeróbio	06/03/2022	129,54	50,76	78,78	87,05	12,95	0,62
aeróbio		70,40	48,41	21,99	92,96	7,04	0,35
anaeróbio	20/03/2023	57,26	27,34	29,92	94,27	5,73	0,52
aeróbio		108,30	49,91	58,39	89,17	10,83	0,54
Média anaeróbio		76,90	27,91	48,99	92,31	7,69	0,56
Desvio padrão		36,91	15,40	38,47	3,69	3,69	0,18
Coeficiente de variação (%)		47,99	55,19	78,53	4,00	47,99	31,70
Média aeróbio		69,68	35,29	34,39	93,03	6,97	0,48
Desvio padrão		22,83	10,44	17,22	2,28	2,28	0,10
Coeficiente de variação (%)		32,76	29,58	50,09	2,45	32,76	20,10

Legenda: ST: Sólidos Totais; STF: Sólidos Totais Fixos; STV: Sólidos Totais Voláteis; STV/ST: Relação Sólidos Totais Voláteis/ Sólidos Totais.

Nota: Os dados apresentados nas linhas “anaeróbio” e “aeróbio” são resultantes da média das análises, realizadas em duplicata.

Em relação aos resultados obtidos, ressalta-se que uma maior proporção de sólidos voláteis nos lodos anaeróbio e aeróbio pode ter relação com a presença de estruturas de microorganismos, representadas pela fração biodegradável do lodo. Essas estruturas caracterizam-se pela presença de água no esqueleto celular (FLAGA, 2005), sendo que quanto menor a fração de sólidos biodegradáveis no lodo (mais estável), maior será a facilidade para secar o lodo a uma taxa elevada (VAN HAANDEL, LETTINGA, 1994).

A Resolução nº 498 do CONAMA cita, ainda, que a fração orgânica estabilizada do lodo proveniente de reatores do tipo UASB e lodos ativados (não há especificação para lodo de filtros biológicos percoladores), deve ser comprovado por uma relação entre sólidos voláteis e sólidos totais inferior a 0,65. O presente estudo apresentou relação de 0,56 e 0,48 para os lodos anaeróbio e aeróbio, respectivamente, indicando que estes estão estabilizados.

Monitoramento dos ciclos de secagem

De modo geral, observou-se que a desidratação natural dos lodos anaeróbio e aeróbio apresentou tendência “linear” durante o tempo de ciclo médio de 24 dias de exposição (Tabela 1, Figura 3). Conclui-se, portanto, que proporcionalmente à diminuição da altura do leito, houve o aumento percentual de sólidos no lodo.

O teor final médio de sólidos observado após período de desaguamento do lodo anaeróbio foi 31%, enquanto que no lodo aeróbio o teor final foi aproximadamente 30% (Tabela 1). Esses resultados corroboram com os percentuais esperados (30 – 40%) para lodos secos por desidratação não assistida por processos químicos e/ou mecanizados (FLAGA, 2005; JORDÃO, PESSÔA, 2011; VON SPERLING *et al.*, 2014). Isso porque, conhecidamente, o processo de desidratação natural do lodo consegue remover apenas a água retida entre os poros das partículas, ficando ainda retida a água capilar, a água contida dentro do floco de lodo, a água intracelular, presente na estrutura dos organismos e na forma de coloides (FLAGA, 2005). Os resultados também mostraram perda de umidade de 29% no lodo anaeróbio (média de 1,4% por dia), e 25% no lodo aeróbio (média de 1,1% por dia), considerando o tempo total de ciclo de secagem do lodo (24 dias) de cada reator.

Tabela 2: Leito de Secagem: dados altura do lodo, teor de sólidos e concentração de sólidos totais, fixos e voláteis em lodo anaeróbio e aeróbio em sistema de tratamento com reator UASB e Filtro Biológico Percolador de Baixa Taxa, no sul do Brasil.

Ciclo de desaguamento 1						
Lodo anaeróbio			Lodo aeróbio			Precipitação
Data	Alt. do lodo (m)	Teor de sólidos (%)	Data	Alt. lodo (m)	Teor de sólidos (%)	
19/10/2022	0,38	5,77	17/10/2022	0,38	5,19	Sim
21/10/2022	0,30	12,91	20/10/2022	0,31	9,09	Sim
24/10/2022	0,25	20,83	24/10/2022	0,27	13,24	Não
30/10/2022	0,18	24,18	27/10/2022	0,24	18,10	Sim
02/11/2022	0,17	25,39	31/10/2022	0,20	20,24	Sim
06/11/2022	0,16	28,41	05/11/2022	0,18	24,88	Não
08/11/2022	0,15	33,89	08/11/2022	0,15	29,74	Não
Ciclo de desaguamento 2						
23/01/2023	0,40	5,85	23/01/2023	0,40	4,92	Não
28/01/2023	0,19	18,89	28/01/2023	0,26	11,37	Não
31/01/2023	0,18	20,77	31/01/2023	0,24	13,01	Não
04/02/2023	0,17	19,93	04/02/2023	0,21	15,88	Não
09/02/2023	0,16	22,86	09/02/2023	0,18	20,17	Sim
12/02/2023	0,16	24,12	12/02/2023	0,17	22,51	Sim
15/02/2023	0,16	26,67	15/02/2023	0,16	28,02	Sim
20/02/2023	0,16	28,90	17/02/2023	0,14	29,30	Sim

Legenda: Alt. do lodo: altura do lodo no leito de secagem; ST: Sólidos Totais; SVT: Sólidos Voláteis Totais; SFT: Sólidos Fixos Totais; T: temperatura média do dia, em graus Celsius; Precipitação: ocorrência de precipitação no dia da medição e amostragem; mg.L⁻¹: miligrama por litro.

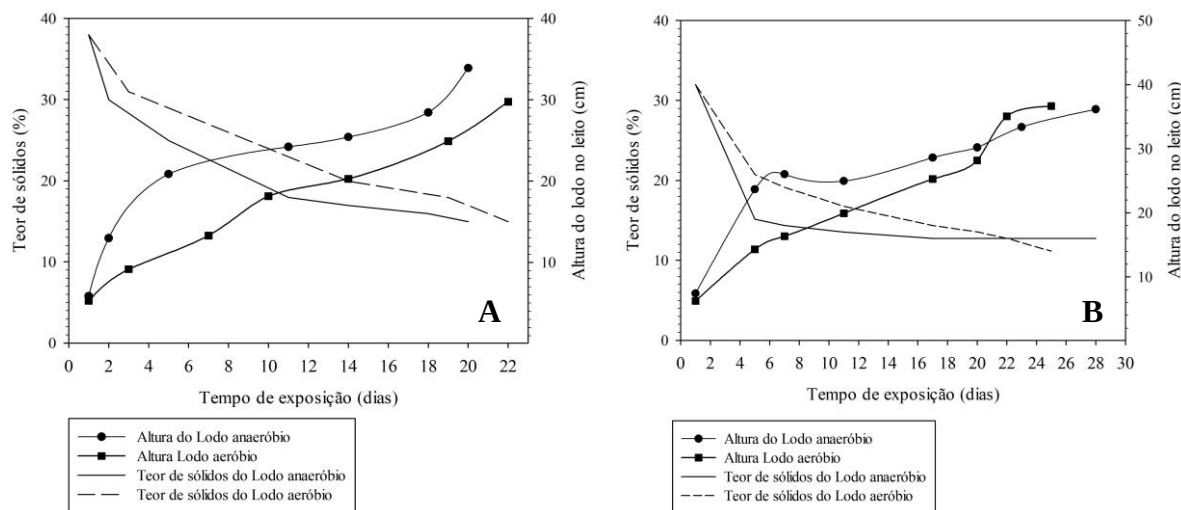


Figura 3 - A e B: Comportamento de secagem de lodo pelo teor de sólidos e altura do lodo anaeróbio e aeróbio em sistema de tratamento com reator UASB e Filtro Biológico Percolador de Baixa Taxa, no sul do Brasil, nos meses de outubro (A) e fevereiro (B).

Os resultados médios de carga de sólidos totais (kgST.m^{-2}) aplicadas sobre os leitos de secagem aeróbio e anaeróbio, no início do tempo de ciclo, foram 22,66 e 19,70 kgST.m^{-2} , respectivamente, calculados neste caso como ST. Esses dados indicam uma taxa de aplicação superficial no leito acima do recomendado pela NBR 12209, que é de 15 kgST.m^{-2} de leito de secagem, salvo quando devidamente justificado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011, p. 40). Em contraponto, o conceito de produtividade do leito de secagem constitui que, além da carga de sólidos aplicada, o tempo de secagem (ciclo) total e a umidade na qual se deseja chegar, também são importantes variáveis a serem consideradas para efetiva secagem não mecanizada de uma batelada de lodo (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). Além disso, corroborando com o presente estudo, Aisse e Andreoli (1998), em um experimento com leitos cobertos, obtiveram bons resultados de produtividade para teores de sólidos finais de 26 e 31%, aplicando a taxa de 23,7 kgST.m^{-2} de lodo anaeróbio bem estabilizado, em um período de pouca chuva (20 mm, acumulada), e tempos de ciclo de 14 e 20 dias, respectivamente.

Outros estudos de ciclos de desaguamento foram realizados em regiões de clima ameno, com temperaturas médias de 18°C. Além Sobrinho e Samúdio (1996), em experimento com leitos descobertos para desaguamento do lodo de reatores UASB, observaram tempos de ciclo de 16 e 14 dias para taxas de aplicação de 12,5 e 10 kgST.m^{-2} , alcançando teores de sólidos de 20% e 30% respectivamente. Ross (2015), também em estudo com leitos descobertos, observaram tempos de ciclo de 7 e 27 dias para taxas de aplicação de 18,8 e 15,8 kgST.m^{-2} , alcançando teores de sólidos de 21 e 30%. Estes últimos, no entanto, apontaram a interferência da pluviosidade no processo de desaguamento, constatada pelo maior tempo de ciclo (27 dias) durante a ocorrência de eventos de precipitação mais intensos (17 mm) em relação ao volume precipitado no menor tempo de ciclo observado, de 7 dias (2 mm).

CONCLUSÕES

Nos meses de outubro de 2022 a fevereiro de 2023 foi avaliado o ciclo de secagem do lodo produzido na estação de tratamento de esgoto (ETE) localizada na região sul do Brasil, que opera com um sistema combinado de reator UASB e filtro biológico percolador (FBP) de baixa taxa.

Os resultados exibiram média do teor de sólidos de 7,69% ($76,90 \text{ g.L}^{-1}$) no lodo anaeróbio e 6,97% ($69,68 \text{ g.L}^{-1}$) no lodo aeróbio. A proporção de sólidos totais voláteis no lodo anaeróbio (UASB) foi 56% e no lodo aeróbio foi 52%, confirmando que os lodos desaguados estão estabilizados.

Os resultados também mostraram que, para um tempo ciclo semelhante dos lodos anaeróbio e aeróbio (média de 24 dias), houve maior desaguamento do lodo anaeróbio, chegando ao teor de sólidos de 31%, enquanto que

o lodo aeróbio, ainda que com tempo de ciclo maior, atingiu teor de sólidos de 30%, embora não estatisticamente significativo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pela sessão de bolsas de doutorado e ao apoio da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) para acesso aos laboratórios e acompanhamento durante as coletas na estação de tratamento de esgoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M. M.; ANDREOLI, F. de N. Estudo da desidratação do lodo anaeróbio, obtido em reator tipo Ralf, através do uso de leito de secagem e de centrifuga tipo decanter. I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, Anais. 1998.
2. ALEM SOBRINHO, P.; SAMUDIO, E. M. M. Desidratação de lodo de reator UASB em leito de secagem. XXV AIDIS, Anais, Cidade do México, 1996.
3. ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba: PROSAB, 1999.
4. ANDREOLLI et al. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 2ª Ed. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2014.
5. American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC, 2012.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, p. 40. 2011.
7. BRASIL. MMA. CONAMA. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. Define os critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: Seção 1, Atos do Poder Executivo, Brasília, DF, ano 158, n. 161, p. 265-269, 21 ago. 2020. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=749>. Acesso em: dez. 2022.
8. CERQUEIRA, P. L. W.; AISSE, M. M. Custos de processamento de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto com reatores anaeróbios de manto de lodo e pós-tratamento aeróbio: subsídios para Estudos de Concepção. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n.2, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-415220190244>>.
9. CERQUEIRA, P. L. W.; AISSE, M. M. Dimensionamento de Leito de Secagem para desaguamento de lodo anaeróbio: uma análise crítica In: 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017, São Paulo - SP. Anais. Rio de Janeiro - RJ: ABES, 2017. p.1 - 8
10. CORRÊA, W. C. Avaliação de um sistema reator anaeróbio de manto de lodo seguido de filtro biológico percolador de baixa taxa em escala plena. (Dissertação) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
11. EUROPEAN COMMISSION. Environmental, economic, and social impacts of the use of sewage sludge on land. p.1-20, 2008.
12. FLAGA, A. Sludge drying. In: Proceedings of Polish-Swedish Seminars Integration and Optimization of Urban Sanitation Systems, Cracóvia, Polônia (Retirado de <http://www2.lwr.kth.se/Forskningsprojekt/Polishproject/index.asp>, 2005.
13. GONÇALVES, R. F.; VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
14. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 6.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
15. LIEW, C.; KIATKITTIPONG, W.; LIM, J.; LAM, M.; HO, Y.; HO, C.; NTWAMPE, S. K. O.; MOHAMAD, M.; USMAN, A. Stabilization of heavy metals loaded sewage sludge: Reviewing conventional to state-of-the-art thermal treatments in achieving energy sustainability. Chemosphere, v. 277, 130310, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130310>>.
16. MARIN, L. M. K. Contribuição ao zoneamento ambiental das bacias hidrográficas do Ribeirão do Calixto e Ribeirão Claro, na Lapa – Paraná. Dissertação de mestrado na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
17. METCALF, L.; EDDY, H. P. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
18. ROSS, B. Z. L. Escuma de reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico em escala real: produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. 2015.



19. VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: EPGRAF, 1994.
20. VON SPERLING, M.; LUDUVICE, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. In: FERNANDES, F.; VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.