

Uso de bombas de *air lift* para extração de lodos de excesso em sistemas descentralizados de tratamento de esgoto

Utilization of air lift pumps for excess sludge extraction in decentralized wastewater treatment systems

• **Data de entrada:**
15/07/2022


• **Data de aprovação:**
29/08/2022


Eduirbe Castro de Araújo^{1*} | Neyson Martins Mendonça¹ | Luiza Carla Girard Mendes Teixeira¹ | Mario Tavares Russo²


DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.049>

ORCID ID

Araújo EC  <https://orcid.org/0000-0001-9525-6399>

Mendonça NM  <https://orcid.org/0000-0002-1490-2107>

Teixeira LCGM  <https://orcid.org/0000-0002-0204-6825>

Russo MT  <https://orcid.org/0000-0002-4515-5554>

Resumo

O objetivo do artigo é investigar a eficiência da bomba *air lift* em fluxo bifásico (ar e fluido) na transferência de lodo de excesso em digestores residenciais, a fim de auxiliar operações de manutenção e limpeza de sistemas descentralizados. A investigação experimental utilizou os seguintes parâmetros: diâmetro, vazão de ar e razão de submersão. O resultado indicou que o volume descarregado em função do tempo cresce com o aumento da vazão do ar e a redução do nível do fluido (razão de submersão) apresentou como consequência a diminuição da vazão do líquido (água ou lodo). A eficiência da transferência (E%) diminui conforme o diâmetro da bomba aumenta, tanto na Qar de 150 L/min como na vazão de ar de 200 L/min. Os DN de 40mm e 50 mm mostraram-se os mais indicados para atender a uma melhor taxa de transferência de lodo. Por fim, as vantagens potenciais dos resultados podem representar um avanço no desenvolvimento tecnológico da transferência de lodo de excesso em tratamento anaeróbio de esgoto.

Palavras-chave: Air lift. Bomba de elevação de ar. Digestores anaeróbios. Transferência de lodo de excesso. Tanque séptico. Tratamento do esgoto.

Abstract

The objective of this study is to investigate the efficiency of the air lift pump in two-phase flow (air and fluid) in the transfer of excess sludge in residential digesters, in order to assist maintenance and cleaning operations of decentralized systems. The experimental investigation used the following parameters: diameter, flow rate and submersion ratio. The result indicated that the volume discharged as a function of time grows with the increase in the air flow and the reduction of the fluid level (submersion ratio) and resulted in a decrease in the liquid flow (water or sludge). The transfer efficiency (E%) decreases as the pump diameter increases, for both the 150 L/min Qar and the 200 L/min Qar. The DN of 40mm and 50mm proved to be the most suitable to meet a better sludge transfer rate. Finally, the potential advantages of the results may represent an advance in the technological development of excess sludge transfer in anaerobic sewage treatment.

Keywords: Airlift. Air lift pump. Anaerobic digesters. Excess sludge transfer. Septic tank. Sewage treatment.

¹ Universidade Federal do Pará - Belém - Pará - Brasil.

² Instituto Politécnico de Viana do Castelo - Viana do Castelo - Portugal.

* **Autor correspondente:** eduirbe@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o emprego de tratamentos anaeróbios de esgotos domiciliares tem se destacado no Brasil por apresentar diversas vantagens, como economia no processo, simplicidade operacional, baixa produção de lodo excedente e por requerer menores áreas para implantação (ROSA et al., 2017). O lodo anaeróbio séptico (LAS), segundo Cordeiro (2010), é basicamente composto pelo lodo de fundo, resultante da decantação de sólidos sedimentáveis que se incorporam ao lodo biológico, necessitando de remoção periodicamente.

Redes de coleta de esgotos e estações de tratamento de esgoto (ETE) são raras na Região Metropolitana de Belém (RMB) no estado do Pará, Brasil, fazendo com que tenham um amplo déficit desse serviço. Como solução pontual, Digestores Anaeróbios residenciais (DAR) surgem como uma alternativa necessitando, contudo, de uma gestão de lodo eficiente e segura.

Novas tecnologias de tratamento dos esgotos residenciais, como é o caso dos DAR, que vêm tomando espaço comercial, aperfeiçoam o funcionamento e simplificam a operação. Entretanto, ainda persiste a necessidade de resolver o problema da remoção e tratamento do lodo de excesso acumulado no fundo dos tanques, com segurança, higienização, simplicidade e eficiência de remoção. Porém, tal medida deve ser feita com cuidado devido à possibilidade de retirada desnecessária de todo o conteúdo dos tanques, que garantirá dessa forma que o processo de digestão não sofra com a descontinuidade (NBR 7229, 1993).

A bomba *air lift* ou por emulsão de ar foi utilizada como opção para essa transferência. Um mecanismo simples de fácil construção e aplicação, e comprovadamente de baixo custo. Consiste de um tubo vertical, parcialmente submerso (razão

de submersão), que por meio da introdução de ar comprimido, próximo da sua extremidade inferior, tem a função de elevar as misturas do líquido e sólido (LIGUS et al., 2019). Nesse contexto, a presente pesquisa experimental, investiga a remoção e transferência do lodo séptico de excesso, através de bombas *air lift*, operando em fluxo bifásico, com vazões de ar de 150 e 200 L/min e diâmetros nominais da bomba de 40, 50 e 60 mm.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Funcionamento da bomba *air lift* em fluxo bifásico

Uma bomba *air lift* é um mecanismo que permite a elevação de líquidos + sólidos através de um tubo vertical de comprimento não muito elevado, o qual se encontra parcialmente submerso (razão de submersão). Trata-se de uma bomba que tem baixa sucção e descarga moderada de líquido e sólidos aprisionados. Na bomba, é injetado ar comprimido na parte inferior do tubo de descarga que fica imerso no líquido. O ar comprimido se mistura com o líquido fazendo com que a mistura ar-água seja menos densa do que o resto do líquido ao seu redor e, portanto, seja deslocado para cima através do tubo de descarga pelo líquido circundante de maior densidade (LIGUS et al., 2019), como ilustra a Fig. 1:

Dentre os padrões de fluxos, no de fluxo de Bolhas de Taylor – como apresentado na Fig. 2 – as bolhas de ar (conhecidas como *slug*) atuam como pistões pneumáticos e empurram a água presa entre elas ao longo do tubo. A bolha de ar não apenas empurra a água para frente, mas também arrasta a água por trás dela, devido à sucção criada pelo rápido movimento da bolha. A velocidade de entrada do ar deve ser mais alta para vencer o atrito do fluido com a parede da tubulação.

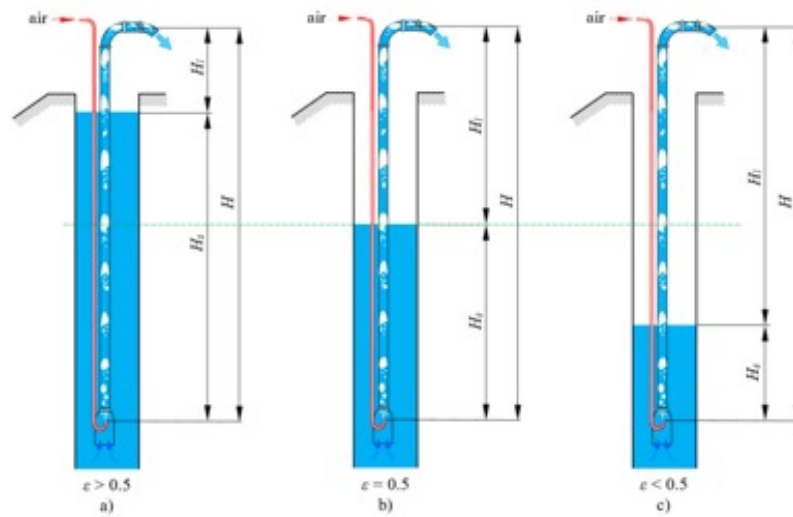


Figura 1 - Esquema da razão de submersão (R_s) nos sistemas de bombeamento *air lift*.
 (a) alta taxa de submersão $R_s > 0,5$; (b) taxa média de submersão $R_s = 0,5$; (c) baixa taxa de submersão $R_s < 0,5$.
 Fonte: LIGUS et al (2019).

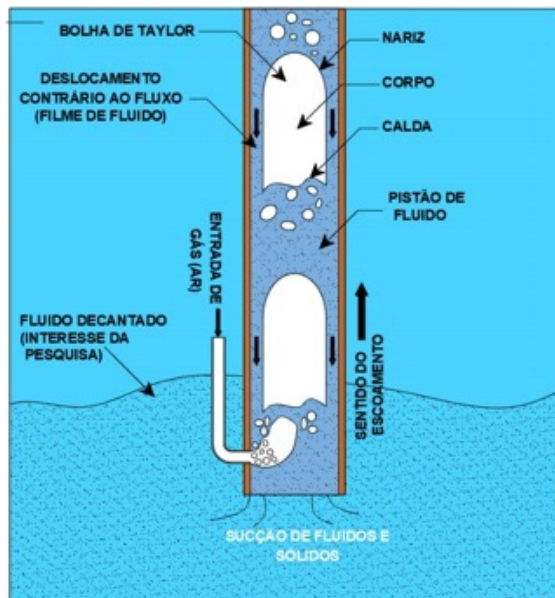


Figura 2 - Padrão de bolhas de Taylor
 Fonte: Adaptado de GARRIDO (2018).

Um parâmetro importante a ser observado nas bombas *air lift* é a razão de submersão, na qual a vazão da bomba *air lift* é influenciada pela sua diminuição. Leia-se a equação apresentada:

Equação:

$$R_{s_n} = \frac{H_{sn}}{H}$$

Em que:

R_{s_n} = Razão de submersão no nível n ;

H_{sn} = Altura de submersão em metros no nível n ;

H = Altura total (elevação) em metros.

Outro parâmetro estudado no funcionamento da bomba *air lift* é a vazão de gás necessária para elevar uma certa massa de fluido em função da razão de submersão. Uma propriedade no uso do *air lift* é que a massa de ar diminui quando o diâmetro reduz, obtendo-se um melhor desempenho na elevação de líquidos. Porém, quando o volume de gás vai se elevando demais a diferença de diâmetro não influencia tanto na vazão do fluido, fenômeno esse observado em pequenos diâmetros (KIM et al., 2014).

2.2 Características do lodo anaeróbio

As propriedades reológicas afetam fortemente o bombeamento de lodo anaeróbio (LIU et al., 2017). Por sua vez, Baudez et al. (2011) e Ratkovich et al. (2013) estudaram o comportamento reológico do lodo anaeróbico digerido nas estações de tratamento e concluíram que o lodo é um fluido não-newtoniano que apresenta um comportamento tixotrópico de afinamento por cisalhamento ou seja, quanto mais se submete tal fluido a esforços de cisalhamento, mais se diminui sua viscosidade.

Na reologia do lodo anaeróbio, por ser um fluido não newtoniano, identificamos o fenômeno da *tixotropia*, no qual o lodo passa do estado de gel para o estado líquido após ligeira agitação. A diminuição da viscosidade aparente com o tempo pode ser explicada pela quebra de uma estrutura organizada no fluido (FÜREDER, 2018; LIU, 2017; WOLSKI, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a caracterização dos sólidos totais do lodo séptico que foi coletado da EEE do UNA foi utili-

zado o método *Gravimétrico T 103-105°C - 2540-B* (APHA, 1998). Para iniciar a pesquisa desenvolveram-se as coletas, no ponto de amostras, no primeiro dia, 48 e 72 horas após a colocação do lodo nos protótipos, para a produção de gráficos de sedimentação.

O protótipo da pesquisa em PEAD é semelhante a um DAR em formato cilíndrico com 0,55m de diâmetro interno e altura total de 1,77 m, com capacidade de cerca de 420 litros e fundo em formato cônico (PFC). Na Fig. 3 apresenta-se o esquema, assim como os acessórios e dispositivos hidráulicos que integram o sistema de bombeamento. O Tanque de recepção simula outro tanque com o objetivo, na prática, do tratamento do lodo bombeado.

Na Fig. 3 o PFC a 40 cm do fundo, há a transição do cilindro de $D=0,55$ cm para um cilindro troncocônico com inclinação de 60° finalizando com o diâmetro do fundo de 0,10 m.

O protótipo PFC apresenta 8 pontos de coleta para amostragens distribuídos ao longo da altura.



Figura 3 - Esquema dos equipamentos da pesquisa.
Fonte: Autor (2022).

Para a injeção de ar foi utilizado compressor de 100 litros de armazenamento com uma pressão máxima de trabalho de 120 kPa. As bombas *air lift* foram construídas em tubos de PVC nos diâmetros nominais (DN) de 40, 50, 60mm; todas com uma altura de 1,72 m, deixando uma folga de 5 cm entre a boca de entrada da bomba e o fundo do protótipo.

No PFC, foi incorporado um raspador para auxiliar na desagregação e homogeneização do lodo decantado, e para ambos os dispositivos foi utilizado um rotâmetro com escala de variação de vazão de 20 a 215 L/min.

Após cada bombeamento, o lodo era agitado e, com o auxílio de bomba submersível de ½ hp, recolocado de volta nos protótipos e acrescentado para que o sistema voltasse às condições originais no PFC, no nível de altura útil (157 cm acima do fundo). O conteúdo ficava em repouso por 72 horas (3 dias), de modo a se obter a sedimentação do lodo sépti-

co. Procedia-se à coleta antes do bombeamento de 100 ml de esgoto nos pontos de amostragem para identificar o parâmetro de ST em Kg.

O funcionamento da bomba iniciava-se ao injetar o ar até a vazão atingira faixa desejada (de 150 e 200 l/min), e com cronômetro era registrado o tempo da redução do nível de 10 em 10 cm até alcançar o nível de 60 cm (abaixo) observado na régua. Finalizava-se o bombeamento pela interrupção da injeção de ar.

Para a diminuição do fenômeno da *tixotropia*, foi utilizado o método MFC, que consiste em fixar a bomba *air lift* no eixo do tanque e com auxílio de *agitador triangular*, raspando a parede do fundo cônico, efetuava-se movimentos semicirculares em sentido horário e anti-horário até o final do bombeamento. Essa operação tinha como função quebrar a massa do lodo e homogeneizá-lo, eliminando partes densas e facilitando a captação pela sucção da bomba (Fig. 4).

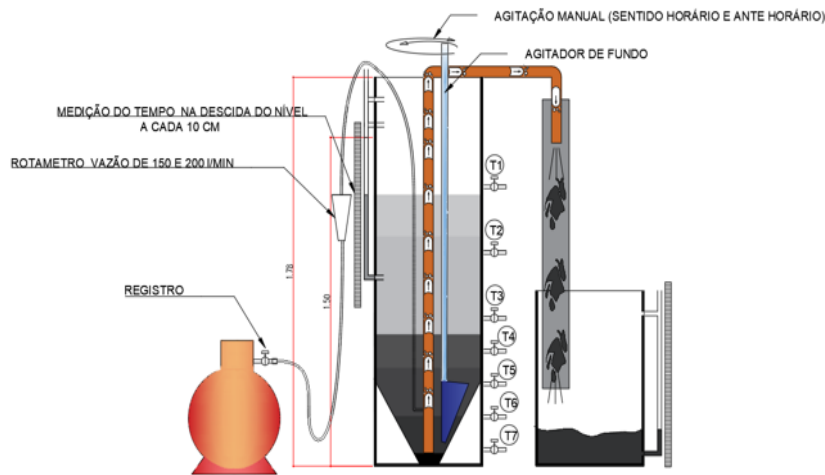


Figura 4 - Método de agitação do lodo séptico
Fonte: Autor (2022).

Para a definição do parâmetro da razão de submersão utilizada na pesquisa, foi calculada a

cada 10 cm de rebaixamento do nível, até o máximo de 60 cm, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Razão de submersão conforme o rebaixamento do líquido

Rebaixamento (m)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Altura em relação à entrada da bomba (m)	1,57	1,47	1,37	1,27	1,17	1,07	0,97
Rs	0,87	0,83	0,77	0,72	0,66	0,6	0,55

Fonte: Autor (2022).

Em cada protótipo, foram considerados os volumes de influência do ponto de amostragem (Fig. 5 e 6), que com os resultados do ST permitiram definir a massa total antes e depois do bombeamento.

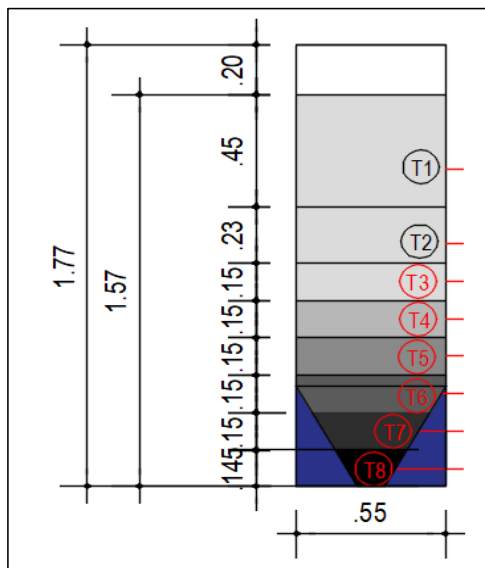


Figura 5 - Medidas de influência para cada ponto de amostragem dos protótipos de PFC antes do bombeamento (medidas em metro)
 Fonte: Autor (2022).

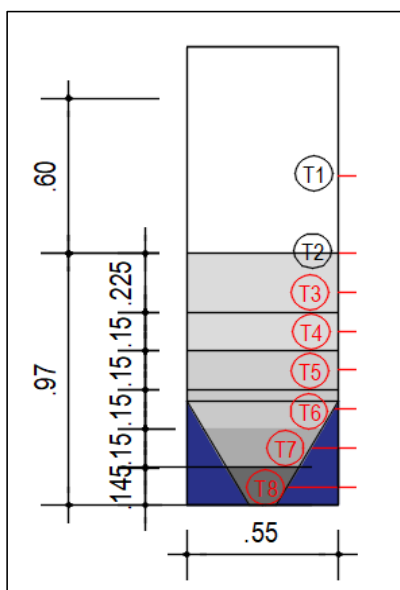


Figura 6 - Medidas de influência para cada ponto de amostragem dos protótipos de PFC após o bombeamento (medidas em metro)
 Fonte: Autor (2022).

Para quantificar a massa total (kg) de ST existente nos protótipos antes do bombeamento, foram utilizadas as Eq. 1 e 2.

$$M_{PFC} = (C_1 V_1 + C_2 V_2 + \dots + C_8 V_8) \quad (1)$$

Onde: C_n é concentração no ponto de amostra (mg/l), V_n é o volume de influência no ponto de amostra em litros. Para o cálculo da massa de excesso dos protótipos (Me_{EFC}), foi contabilizado do ponto de coleta 3 até 8.

Equação:

$$Me_{EFC} = (C_3 V_3 + C_4 V_4 + \dots + C_8 V_8) \quad (2)$$

Onde C_n é a concentração no ponto de amostra em (mg/l); o V_n é o volume de influência para o ponto de amostra em litros.

Após, verificou-se a massa de decantação, por meio da diferença entre a massa total e a massa de excesso, assim como eficiência de remoção da massa de decantação por cada bomba, para transferir o lodo de excesso dos protótipos para o tanque.

Para a quantificação dos ST, em cada torneira, foram feitas coletas no dia 1 (1h de sedimentação), 48 e 72 horas após a colocação do lodo.

As relações dos parâmetros estudados: razão de submersão (R_s), vazão de ar (Q_{ar}) e vazão de fluido lodo (Q_L). As medições ocorreram sempre da maior razão de submersão para a menor, relacionando inicialmente com o tempo decorrido a cada redução do nível (de 10 em 10 cm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No gráfico da Fig. 7, observa-se a evolução da concentração de sólidos ao longo do tempo.

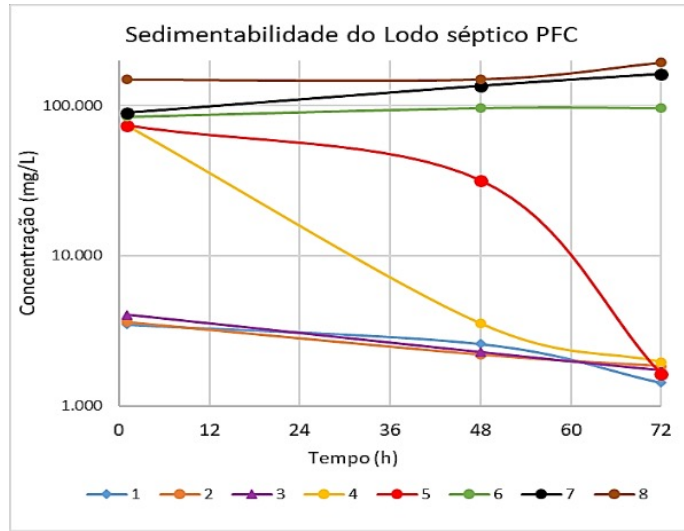


Figura 7 - Sedimentação do lodo nos diversos níveis estratigráficos do PFP e PFC(mg/L)
 Fonte: Autor (2022).

No tempo inicial, nos pontos de 1 a 3 a concentração é pequena e reduz ainda mais no decorrer do tempo. Nos pontos 4 e 5, a redução é significativa ao longo do tempo. Já nas últimas camadas, onde a concentração é maior, ainda é possível ver um aumento da concentração, o que nos leva a concluir que após 72 horas a maior parte do lodo foi para as camadas mais profundas.

Como já observado na metodologia e considerando que o lodo, em escala real, fica por meses em repouso até a retirada do excesso, a consequência é que nas camadas finais o lodo é mais viscoso. Diante disso, o uso da bomba após os 3 dias (72 horas) estará mais perto da realidade e com a condição mais adequada para testar a bomba *air lift*. Logo, a massa de ST em Kg, antes do bombeamento, foi de 8,80 Kg em 322,09 litros.

4.1 Verificação do funcionamento da bomba *air lift* com água

Na Tabela 2, vemos que as vazões de Q_{ar} de 50 e 100 l/min, quando a bomba é testada em fluido água, não têm energia suficiente para o bombear até finalizar na Rs de 0,55 (como desejado).

Tabela 2 - Razão de submersão alcançada pelas bombas *air lift* com o fluido água

Q ar (l/min)	Diâmetro no PFP		
	40	50	60
50	0,70	0,72	0,87
100	0,59	0,62	0,71
150	0,55	0,55	0,62
200	0,55	0,55	0,58

Fonte: Autor (2022).

Sendo assim, não são recomendadas para uso prático para a transferência do lodo com compressores de ar comerciais. Já as Q_{ar} de 150 e 200 l/min são as que tiveram melhor desempenho na redução da razão de submersão. Os parâmetros ajustados ficaram os seguintes: 150 e 200 l/min para Q_{ar} e os DN de 40, 50, 60 para as bombas *air lift*.

4.2 Uso da bomba *air lift* no bombeamento do lodo

Ressalta-se que as bombas não se comportaram como em bombas convencionais, diâmetro maior, maior fluxo. Constata-se que para a Q_{ar} de 150 e 200 l/min, em todos os diâmetros, a Q_L diminui a cada redução da Rs, como ilustrado na Fig. 8:

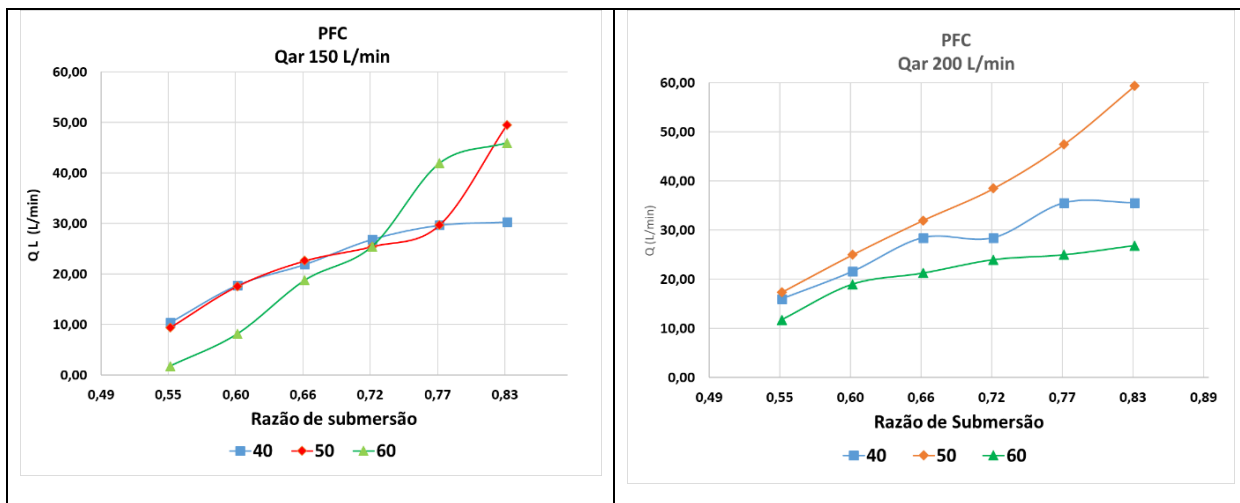


Figura 8 - Funcionamento da bomba *air lift* no Protótipo de Fundo Cônico (PFC).
 (a) para Vazão de ar de 150 l/min e (b) para Vazão de ar de 200 l/min
 Fonte: Autor (2022).

Vemos que os menores diâmetros (40 e 50 mm), na Q_{ar} de 150 l/min, têm comportamentos similares a partir da R_s de 0,77, porém diferentes na Q_{ar} de 200l/min. Contudo, são as que melhor desempenho têm. Com um destaque para o DN 50mm.

Para o DN de 60 mm apesar de chegar até a R_s de 0,55, sua vazão no final, para a Q_{ar} de 150 l/min., chega a perto de zero e melhora na Q_{ar} de 200 l/mim, porém tem o menor desempenho na Q_L . A bomba de DN 50mm é que mostra ter uma maior vazão.

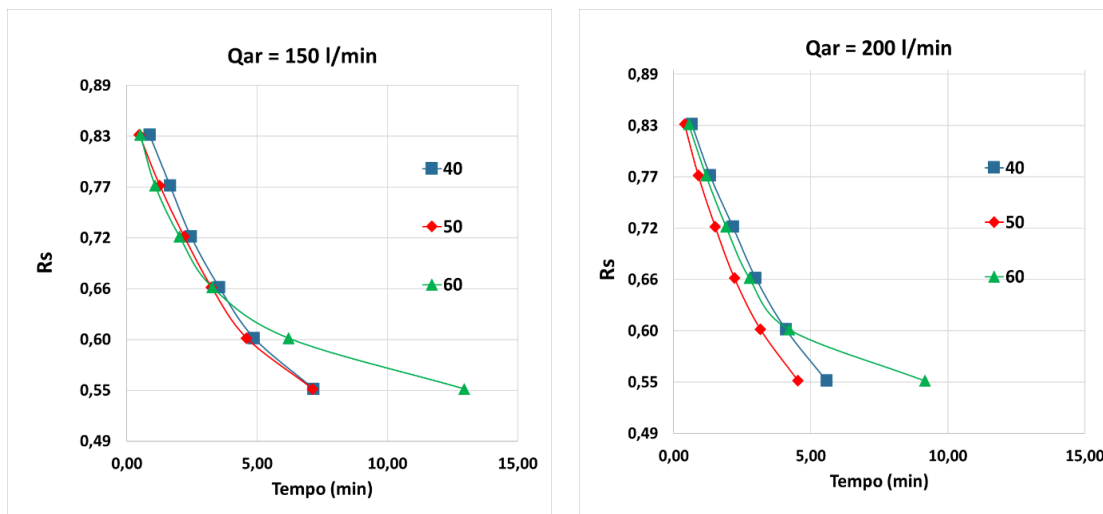


Figura 9 - Tempo necessário das bombas *air lift* para alcançar a R_s mínima (0,55) (PFC)
 Fonte: Autor (2022).

As bombas *air lift* obtiveram tempos de bombeamento diferenciados, ficando o menor tempo

para a bomba de DN 50mm com um menor gasto energético de bombeamento.

4.3 Eficiência das bombas *air lift* na transferência de lodo de excesso

Na Fig. 10, estão representados os ensaios realizados no PFP com as bombas de 40, 50 e 60 mm

para as vazões de ar de 150 e 200 L/min. A concentração inicial de ST do esgoto (Kg) colocado no PFP está representada em laranja, e a concentração de ST do lodo de excesso em massa (kg) depois do bombeamento, em azul.

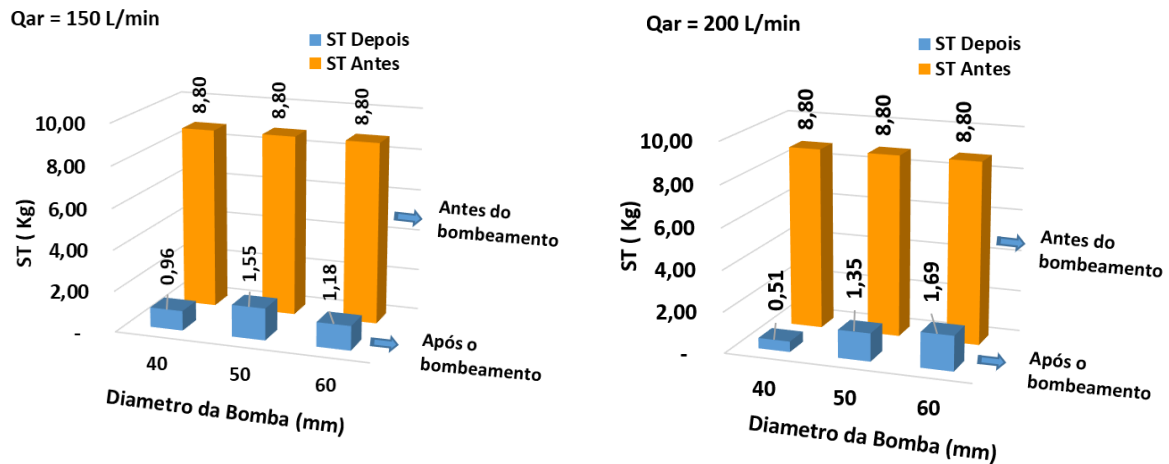


Figura 10 - Transferência do lodo de excesso em representação de ST em massa (kg) para as Q_{ar} de 150 L/min e Q_{ar} 200 L/min no PFP
 Fonte: Autor (2022).

Para as duas vazões de ar, é possível observar que a bomba de diâmetro de 40 mm apresentou um melhor desempenho, obtendo a melhor eficiência de remoção conforme os cálculos obtidos nos pontos estratificados do PFP, logo após o bombeamento.

Para os diâmetros de 40 e 50 mm, a elevação da vazão de ar trouxe uma maior eficiência na transferência. Já para os diâmetros de 60, com o aumento da Q_{ar} para 200 L/min, foi a que obteve um maior residual de lodo no protótipo após o final do bombeamento.

A bomba que obteve o menor desempenho na transferência do lodo de excesso foi o de diâmetro de DN 60 mm, porém as diferenças foram muito pequenas.

Na Figura 11, para a Q_{ar} de 150 l/min, fica claro que a eficiência diminui conforme aumenta o diâmetro, ocorrendo de forma mais expressiva na vazão de 200 L/min.

No protótipo de fundo cônico, observa-se que o método de agitação e de transferência do lodo séptico é eficiente. No modo geral, todos os diâmetros apresentaram uma boa percentagem de lodo transferido, porém a bomba de 40 mm ainda se apresenta com maior eficiência no menor tempo de bombeamento.

A maior eficiência ocorreu na bomba de 40 mm nas duas vazões de ar. Na vazão de Q_{ar} de 200 L/min a média é menor: E% 90,44. Tais resultados demonstram que o aumento da vazão de ar melhorou o tempo de bombeamento (gasto energético), porém não necessariamente aumentou a eficiência da transferência de lodo para as bombas de 50 e 60 mm.

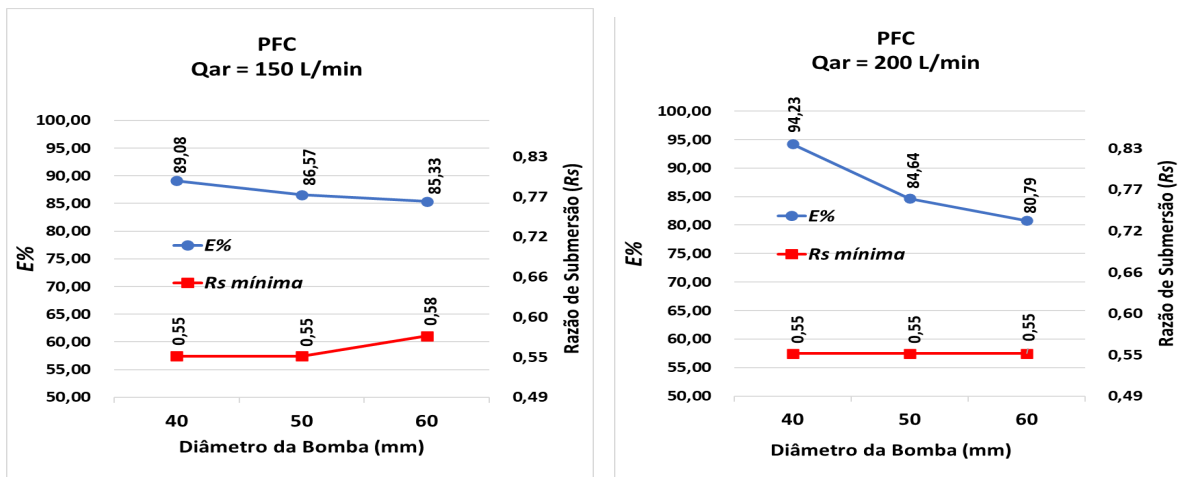


Figura 11 - Eficiência de transferência da bomba de air lift no PFC

Fonte: Autor (2022).

Porém, na bomba de diâmetro de 40 mm, ao aumentar a vazão de ar para 200 L/min, ocorreu um melhor desempenho na transferência do lodo, passando de 89% para 94,23%. Contudo, nas bombas de DN 50 e 60mm, houve uma redução na eficiência.

5 CONCLUSÕES

Como se pode constatar, a bomba *air lift* tem capacidade de transferir o lodo de excesso em digestores residenciais. Com efeito, os diâmetros estudados apresentaram bom desempenho na transferência de lodo. Porém, para vencer a tixotropia do lodo séptico é necessária a agitação simultânea do fundo do tanque no decorrer do bombeamento. Tal procedimento melhora a eficiência do processo.

É possível verificar que quanto menor o diâmetro melhor o desempenho da transferência e menor gasto energético no bombeamento.

A caracterização do lodo e o conhecimento da tixotropia foram de fundamental importância no entendimento da dinâmica do funcionamento da bomba *air lift* na transferência do lodo séptico de excesso de pequenas ETE e para o sucesso da pesquisa.

Quanto à dinâmica da bomba, é possível concluir que poderiam funcionar em duas condições: com

a razão de submersão (R_s) constante sem rebaixamento do fluido ou com rebaixamento do fluido no decorrer do tempo, que é o caso desse estudo e a situação operacional mais desfavorável.

O *air lift* tem grande potencial de incrementar os digestores de residências para a utilização na remoção do lodo anaeróbio ou o lodo séptico de excesso, pois possui construção simples e custo relativamente baixo e pode ser utilizado dentro dos tanques de forma permanente, sem preocupação com a deterioração rápida dos componentes construtivos. Mas será necessária a construção de um acoplamento de um tanque de transferência e secagem.

Uma vantagem da bomba *air lift* em relação aos limpa fossas é limitar o volume a ser transferido (apenas o lodo de excesso) não retirando todo o conteúdo do dispositivo e possibilitando a continuidade do tratamento biológico das ETE residenciais, sem a interrupção da ação bacteriológica interna.

A vantagem mais importante dos sistemas *air lift*, como uma bomba, é a ausência de partes móveis, que permite operações praticamente sem manutenção mecânica no sistema de tratamento.

Sugerem-se investigações sobre a possibilidade de automação do dispositivo de agitação e a possibilidade de uso em lodos de várias origens.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Investigação, Metodologia, Redação - Primeira versão: Araújo E.C.; **Orientação & Investigação:** Mendonça NM; **Conceitualização - Supervisão:** Teixeira LCGM; **Revisão:** Russo MT

7 REFERÊNCIAS

- AHMED, W. H. et al. Air injection methods: The key to a better performance of airlift pumps. *Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 70, p. 354–365, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.09.022>
- ALCÂNTARA, G. P. et al. Utilização de lodo anaeróbio de estação de tratamento de esgoto na produção de mudas de ipê roxo (*tabebuia avellanedae*). *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, v. 13, n. 1, p. 188–201, 2020. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.1.64736>
- AZEVEDO, M. B. **Estudos Experimentais da Ascensão de Bolhas de Taylor Individuais em Tubos Verticais e Ligeiramente Inclinados**. 2016. Tese (Doutorado em Energia Nuclear) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. http://antigo.nuclear.ufrj.br/DScTeses/2016/tese_marcos_Bertrand.pdf
- AZEVEDO, M. B.; FACCHINI, J. L. H.; SU, J. Experimental study of single Taylor bubbles rising in vertical and slightly deviated circular tubes. *Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 116, mar./, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2020.110109>
- BAUDEZ, J. C. et al. **The rheological behaviour of anaerobic digested sludge**. *Water Research*, v. 45, n. 17, p. 5675–5680, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.035>
- CARVALHO, E. H.; ANDREOLI, C. V. (org.). **Lodos de fossa e tanque séptico: orientações para a definição de alternativas de gestão e destinação**. [s.l.] ABES, 2015.
- CHISHOLM, D. Prediction of the performance of air-lift pumps. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, v. 3, n. 3, p. 149–152, 1982. [https://doi.org/10.1016/0142-727X\(82\)90061-3](https://doi.org/10.1016/0142-727X(82)90061-3)
- CORDEIRO, B. S. **A gestão de lodos de fossas sépticas: uma abordagem por meio da análise multiobjetivo e multicritério**. p. 143, 2010. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/7163>
- DEENDARLIANTO et al. Experimental investigation on the flow behavior during the solid particles lifting in a micro-bubble generator type airlift pump system. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 13, dez./, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.100386>
- FÜREDER, K., SVARDAL, K., KRAMPE, J., & KROISS, H. (2018). Rheology and friction loss of raw and digested sewage sludge with high TSS concentrations: a case study. *Water Science and Technology*, v. 2017, n. 1, p. 276–286, 2018. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.111>
- GARRIDO, A. M. **Estudo de escoamentos bifásicos gás-líquido em simulação computacional**. [s.l.] Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro, 2018. <http://carpedien.ien.gov.br:8080/handle/ien/2203>
- JONES, W. D. **Method of and apparatus for pumping liquids**. United States Patent Office, US No 113074, USA, 1918. <https://patents.google.com/patent/US2609668A/en>
- KHALIL, MF et al. Effect of air injection method on the performance of an air lift pump. *International Journal of calor and fluid flow*, v. 20, n. 6, p. 598–604, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0142-727X\(99\)00051-X](https://doi.org/10.1016/S0142-727X(99)00051-X)
- KIM, S. H.; SOHN, C. H.; HWANG, J. Y. **Effects of tube diameter and submergence ratio on bubble pattern and performance of air-lift pump**. *International Journal of Multiphase Flow*, v. 58, p. 195–204, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.09.007>
- LIGUS, G. et al. A new method of selecting the airlift pump optimum efficiency at low submergence ratios with the use of image analysis. *Energies*, v. 12, n. 4, 2019. <https://doi.org/10.3390/en12040735>
- LIU, Gang-Jin; DENG, Liang-Wei. Rheological properties of anaerobic sludge. *Environmental Technology Reviews*, v. 6, n.1, p. 199–208, 2017. <https://doi.org/10.1080/21622515.2017.1404138>
- RATKOVICH, N., HORN, W., HELMUS, F. P., ROSENBERGER, S., NAESSENS, W., NOPENS, I., & BENTZEN, T. R. Activated sludge rheology: a critical review on data collection and modelling. *Water research*, v. v. 47, n, p. 463–482, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.021>
- ROSA, A. P. et al. li-407-Remoção De Matéria Orgânica E Sólidos Tratando De Esgoto Sanitário Com Tecnologias Anaeróbias. *ATENA*, n. 1, p. 1–7, 2011. <https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2018/12/II-407.pdf>
- SANTOS, A. B. **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Im - prece, 2019. <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/30629>
- TIGHZERT, H. et al. Effect of submergence ratio on the liquid phase velocity, efficiency and void fraction in an air-lift pump. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 110, p. 155–161, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.08.047>
- VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. vol. 1: princípio do tratamento biológico de águas residuárias. UFMG, 2005.
- WAHBA, E. M. et al. On the Performance of Air-Lift Pumps: From Analytical Models to Large Eddy Simulation. *Journal of Fluids Engineering*, Transactions of the ASME, v. 136, n. 11, 2014. <https://doi.org/10.1115/1.4027473>
- WOLSKI, P. **Rheological parameters of digested sludge**. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, p. v. 19, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.035>