

LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO PRODUTO ADSORVENTE DE CONTAMINANTES: UMA REVISÃO DE LITERATURA

LARA ALVES GULLO DO CARMO¹; LUIZA BEATRIZ GAMBOA ARAÚJO MORSELLI²; JULIA KAIANE PRATES DA SILVA³; LEONARDO BUBOLZ LEAL⁴; ROBSON ANDREAZZA⁵

¹*Universidade Federal de Pelotas – lara.gullo@outlook.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – luiza_morselli@hotmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas - juliakaiane.prates@hotmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas - leonardolealbubolz@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas - robsonandreazza@yahoo.com.br*

1. INTRODUÇÃO

O lodo proveniente de Estações de Tratamento de Água (LETA), é um resíduo sólido de Classe IIA, proveniente do tratamento de potabilização da água. O LETA costuma ser descartado em corpos hídricos, inclusive os do próprio local de captação de água bruta, acarretando assoreamento, turbidez, toxicidade, eutrofização da água e contaminação do solo. A dificuldade de sua reciclagem se dá por características como elevada umidade, elevada quantidade de sólidos, elevada concentração de metais, presença de metais pesados, matéria orgânica e pelo alto custo financeiro no seu transporte e tratamento (RICHTER, 2001).

Com um volume estimado em 10.000 toneladas de resíduos secos de tratamento de água gerados diariamente em todo o mundo, a gestão do LETA representa um desafio ambiental e econômico para as autoridades de água globalmente (Babatunde e Zhao, 2007).

O processo de adsorção é um fenômeno relacionado às reações químicas que ocorrem na superfície das partículas do adsorvente, sendo essa sua principal característica. Ele se baseia na cinética de transferência de um ou mais constituintes (adsorvatos) de uma fase fluida (adsortivo) para a superfície de uma fase sólida, conhecida como adsorvente (STUMM, 1992).

O LETA contendo alumínio, por sua vez, consiste em um subproduto amplamente gerado, resultante do processo de purificação de águas superficiais para fins potáveis. Trata-se de um material altamente reativo e com capacidade para remover o fósforo dos efluentes através da adsorção e, sendo considerado um resíduo, apresenta baixo custo e grande disponibilidade (RITTER, 2020).

O LETA pode ser utilizado como adsorvente de baixo custo para remover fósforo de águas residuais. Krishna, Aryal e Jansen, (2016) analisaram as capacidades de adsorção de fósforo de quatro tipos de lodos de estação de tratamento de água com bases de ferro e alumínio como coaguladores e floculadores, comprovando a eficácia do lodo de ETA na remoção de fósforo de águas residuais.

Até agora, muitos adsorventes de P foram desenvolvidos, incluindo nanopartículas magnéticas de óxido, zeólitas modificadas, biochar pirolisado e hidróxidos duplos em camadas. No entanto, a aplicação econômica desses materiais em escala industrial é questionável, dada a imensa quantidade de fluxos aquosos que necessitam de tratamento para remoção de P. Portanto, o desenvolvimento de adsorventes baseados em matérias-primas baratas e abundantes, como materiais secundários e fluxos de resíduos, tem ganhado atenção. (EVERAERT et al, 2021).

O trabalho visa caracterizar artigos que mostram o potencial do LETA para reuso em aplicações sustentáveis e investigar a viabilidade da fabricação de produtos adsorventes a partir desse material. Essa abordagem é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gestão de resíduos que promovam a economia circular e reduzam os impactos ambientais do descarte em aterros e corpos hídricos.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado com uma revisão de literatura acerca da busca de artigos científicos que apresentem estudos sobre o desenvolvimento de produtos adsorventes a base de LETA. Utilizou-se as plataformas *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), o portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), *Portal Science Direct* (ELSEVIER) e Google Acadêmico. As palavras chaves utilizadas para a procura do material foram: “**WTPS**”, “**WTS**”, “**Water Treatment Plant Sludge**”, “**adsorption**” e “**product**”. Assim, os trabalhos mais relevantes foram analisados conforme o desenvolvimento de um produto adsorvente em que seus resultados foram dados como efetivo com o adsorvente estudado em cada trabalho analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa identificou uma quantidade restrita de artigos. Dentre os materiais disponíveis, optou-se por selecionar 4 artigos (Tabela 1) que se dedicam a explorar o aproveitamento desse resíduo na fabricação de produtos adsorventes. Essas publicações fornecem uma análise detalhada das oportunidades e desafios associados ao uso do lodo de ETA, contribuindo para uma compreensão mais ampla de suas aplicações e seu potencial para adsorção.

Tabela 1 – Pesquisas com fabricação de produtos adsorventes a base de LETA

Autores	Local	Produto da pesquisa
Everaert <i>et al.</i> (2021)	Mol, Bélgica	Material granular de LETA calcinado.
Jun-Ywol <i>et al.</i> (2021)	Jeonju, Coreia do Sul	Aglomerado esférico de LETA calcinado + betonita.
Cho <i>et al.</i> (2020)	Daejeon, Coreia do Sul	GASA - composto granular de LETA com gel de amido
Kim <i>et al.</i> (2020)	Jeonju, Coreia do Sul	LETA em pó + Melamina

Segundo Everaert *et al.* (2021) o LETA com alumínio é um material que tem o potencial de ser valorizado como um produto adsorvente de fósforo (P). Para isso o LETA exige preparação para que esse processo seja vantajoso, pois a sua capacidade de adsorção pode ser limitada devida a saturação por matéria orgânica do material. O autor traz a proposta de calcinação do LETA em várias temperaturas (100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 550 °C ou 600 °C) e fundindo-se ao LETA calcinado, o tetraborato de lítio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) para a melhoria de suas propriedades de adsorção. Em laboratório, o material a base de LETA que apresentou melhor resultado de adsorção, foi o calcinado a 550 C° classificado como ABA-550 com a isoterma de adsorção de P deste material determinado a pH 7. Para testar o material granulado como adsorvente, foram realizados testes em coluna de adsorção em escala piloto para o tratamento de água superficial em

uma instalação de tratamento de água, no qual havia problemas relacionados à qualidade da água por conta da alta concentração de P do reservatório. Na coluna de adsorção foi fixada a vazão de 200L/h com uma taxa de P de 0,47 mg/L. O ABA-500 apresentou estabilidade estrutural dos grânulos durante o período de experimento (24H) e com eficiência de remoção de P excedendo 86% em todas as repetições.

Os adsorventes em pó oferecem um bom desempenho devido à sua grande área de superfície, mas sua aplicação é dificultada pela agregação em sistemas canalizados (JUN-YWOL *et al.*, 2021). Para uma melhor aplicabilidade e como solução de problemas operacionais, Jun-Ywol *et al.* (2021) propôs a fabricação de produtos esféricos constituídos de LETA proveniente de coagulação com PAC (Policloreto de Alumínio), carvão de baixa qualidade e bentonita, com comprimento de 0,5 a 1,4 cm e diâmetro de 0,5 cm. A bentonita foi empregada para aumentar a resistência do produto, e apenas 10% de seu peso em relação ao peso do lodo de ETA foi suficiente, onde a mesma porcentagem de carvão foi utilizada. O tratamento térmico empregado por calcinação a ar garantiu a estabilização física do produto. Para o estudo de adsorção foram utilizados amônio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{3-}), sulfatiazol ($\text{C}_9\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2\text{S}_2$) e sulfametoxazol ($\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{N}_3\text{O}_3\text{S}$) juntos no mesmo teste shaker. Utilizando 20 mL dos mesmos e 3g de adsorvente e agitação contínua de 8 h. Foi constatado que a presença dos quatro contaminantes não afetou a adsorção de cada um em comparação com a presença de um único contaminante, no qual houve a adsorção de 47%, 71%, 97% e 72% de amônio, fosfato, sulfatiazol e sulfametoxazol, respectivamente.

No estudo de Dong-Wan *et al.* (2020), foi sintetizado um composto granular chamado GASA, que incorporou amido como aglutinante orgânico no LETA proveniente da coagulação com PAC, visando a adsorção de flúor (F) em análises de batelada e em coluna. A caracterização do GASA revelou que os principais mecanismos de adsorção de F incluíam atração eletrostática, troca de ligantes entre grupos hidroxila e íons F, além da precipitação de criolita. Foram investigados os efeitos do pH, a cinética de adsorção e isotermas nos experimentos em batelada. Os testes em coluna determinaram as taxas de fluxo adequadas e os comprimentos do GASA necessários para otimizar a adsorção de F. Mostrando resultados positivos para um comprimento de 15cm e uma taxa de fluxo de 0,85 mL/min. Observou-se que a adsorção dependia fortemente do pH, e ligações Al-F foram identificadas por espectroscopia de fotoelétrons de raios X. O padrão de difração de raios X do composto reagido mostrou a formação da nova fase mineral (criolita) durante a adsorção. Experimentos de adsorção/desorção indicaram que o composto é reutilizável. Concluiendo-se que a utilização do lodo da estação de tratamento de águas residuais na síntese do adsorvente para F é viável.

Já o estudo de Jong-Gook *et al.* (2020) presenta um material compósito, sintetizado pela co-pirolise de lodo de alumínio e melamina, utilizando nitreto de carbono graffítico como photocatalisador, que oxida As(III) em As(V) e adsorve As(V) eficazmente. A adsorção de As(III) é 2,5 vezes maior sob luz do que em escuridão, com um máximo em pH 7. A pesquisa indica que a desorção de arsênio depende do mecanismo de adsorção: As(V) se liga de forma estável por quimissorção, dificultando sua dessorção com água deionizada, enquanto As(III) se adsorve por fisissorção fraca, permitindo uma desorção mais fácil. O material compósito, portanto, não só adsorve arsênio, mas também oxida As(III) na presença de luz. Assim, o material proporciona uma adsorção mais estável para As por meio da foto-oxidação e capacidade de adsorção sob condição de luz.

4. CONCLUSÕES

Esta revisão evidenciou o potencial de produtos adsorventes a base de LETA para a adsorção de contaminantes, demonstrando eficácia no tratamento de diversos contaminantes, mostrando como promissora essa linha de pesquisa. Os resultados indicam que o LETA apresenta alta capacidade de adsorção sozinho e agregado a outros componentes. A continuidade das investigações nesta área é essencial para desenvolver métodos inovadores de remediação ambiental, promovendo a valorização de resíduos e contribuindo para a economia circular.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 37, n. 2, p. 129–164, jan. 2007.

CHO, D.; HAN, Y.; LEE, J.; JANG, J.; YIM, G.; CHO, S.; LEE, J.; CHEONG, Y.; Water defluorination using granular composite synthesized via hydrothermal treatment of polyaluminum chloride (PAC) sludge. **Science of The Total Environment**, v. 732, 2020.

EVERAERT, M. et al. Granulation and calcination of alum sludge for the development of a phosphorus adsorbent: From lab scale to pilot scale. **Journal of Environmental Management**, v. 279, fev. 2021.

JO, J.; KIM, J.; TSANG, Y.; BAEK, K. Removal of ammonium, phosphate, and sulfonamide antibiotics using alum sludge and low-grade charcoal pellets. **Chemosphere**, v. 281, out. 2021.

KIM, J.; KIM, H.; YOON, G.; KIM, S.; MINA, S.; TSANG, D.; BAEKA, K. Simultaneous oxidation and adsorption of arsenic by one-step fabrication of alum sludge and graphitic carbon nitride (g-C₃N₄). **Journal of Hazardous Materials**, v. 383, 4 set. 2019.

KRISHNA, K. C. B.; ARYAL, A.; JANSEN, T. Comparative study of ground water treatment plants sludges to remove phosphorous from wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 180, p. 17-23, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.06>

NGUYEN, M. D. et al. Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, maio 2022.

RICHTER C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo (SP): Editora Edgard Blücher LTDA.; 2001.

RITTER, M. **Estudo do lodo de eta contendo alumínio para a adsorção de fósforo de esgotos sanitários previamente tratados em wetlands**. 2020. Dissertação de mestrado. UFSC.

STUMM, W. **Chemistry of the Solid-Water Interface: Processes at the Mineral-Water and Particle-Water Interface in Natural Systems**. EUA. John Wiley & Sons, 28 maio 1992.