

I-287 - ALUMÍNIO EM LODO RESIDUAL DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ENSAIOS PRELIMINARES PARA RECUPERAÇÃO E REUSO

Ruan Larisson Toninatto Vilela⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP). Mestrando em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da FEIS/UNESP. Bolsista Financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Danubia Santiago Martins

Engenheira Civil pelo Centro Universitário de Votuporanga (UNIFEV). Mestranda em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da FEIS/UNESP. Bolsista Financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Rosane Freire Boina

Engenheira Ambiental pela Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente (FCT/UNESP). Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Professora Assistente Doutora do Depto de Física, Química e Biologia da FCT/UNESP. Docente credenciada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da FEIS/UNESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Valentin Gentil, 1801 – Cecap II - Votuporanga - SP - CEP: 15502-007 - Brasil - Tel: +55 (17) 99677-1964 - e-mail: ruanvilela@yahoo.com.br

RESUMO

A demanda global por água potável vem crescendo exponencialmente e para atendê-la, na maioria dos casos, é necessário tratamento prévio da água. No processo de tratamento é gerado um resíduo (lodo) cujo manejo e disposição são um problema, principalmente, devido à escassez de soluções eficazes, levando ao lançamento desse resíduo diretamente em corpos hídricos. O problema é que o lodo possui em sua composição uma concentração acentuada de alumínio, devido ao coagulante utilizado no processo de tratamento, e pesquisas já mostram efeitos nocivos do alumínio aos organismos e ao meio ambiente. Recuperar e reutilizar componentes coagulantes do lodo pode ser uma alternativa eficiente para reduzir o volume de resíduo para disposição final bem como economizar o custo de dosagem dos produtos recuperados. A recuperação via alcalina-ácida possui uma vantagem sobre a via ácida, de solubilizar uma parcela muito pequena de matéria orgânica. Ela consiste na homogeneização do lodo desaguado em água deionizada, extração alcalina em pH 12 e, posteriormente, extração ácida pH 2. A reutilização foi testada utilizando Jar Test em água bruta do manancial de captação do município, fazendo comparativo com o coagulante comercial PAC-4% utilizando o parâmetro turbidez na comparação. Os resultados mostraram uma boa eficiência de remoção, os valores obtidos pelo coagulante recuperado foram, relativamente, próximos ao da eficiência de remoção do coagulante comercial, além de estarem próximos ou dentro dos valores máximos permitidos, dependendo de outros parâmetros e fatores de qualidade. Com esse trabalho foi possível avaliar que o método possui potencial de ser uma alternativa adequada, ambientalmente, para a destinação do lodo residual de tratamento de água, com possibilidade de retorno econômico com o produto recuperado e o método sem processos muito complexos.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulante, toxicidade, alumínio, recuperação, reutilização.

INTRODUÇÃO

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) ISO 24512 de 2012, que trata as diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e a avaliação dos serviços de água potável, a gestão dos recursos hídricos disponíveis e o acesso ao fornecimento de água potável são os desafios do século XXI. A demanda global por água potável vem crescendo exponencialmente junto ao crescimento populacional, contudo, águas retiradas dos mananciais de captação para o consumo humano, raramente estão de acordo com os parâmetros de qualidade exigidos pela legislação, sendo, assim, necessário o tratamento prévio da água antes de utilizá-la.

Basicamente, o tratamento adotado para a potabilidade das águas em quase todas as Estações de Tratamento de Água (ETAs) envolvem coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (AHMAD, AHMAD, ALAM, 2016). Nessas etapas, é gerado um resíduo (lodo) cujo manejo e disposição são um problema, principalmente, devido à escassez de soluções eficazes. No Brasil e em boa parte do mundo, a gestão adequada desses resíduos raramente é adotada em ETAs em funcionamento, que acabam lançando seus resíduos diretamente nos corpos hídricos (ACHON, BARROSO, CORDEIRO, 2013).

Um problema ao lançar o lodo de ETA diretamente em corpos hídricos é que sais de alumínio, convencionalmente, são utilizados no processo de coagulação e floculação (DASSANAYAKE et al., 2015; ZHAO et al., 2011). Logo, o lodo residual de um processo de tratamento de água, possui grande quantidade de compostos de alumínio em sua composição e os efeitos adversos da presença desse metal, de forma não natural, no meio ambiente, ainda estão sendo investigados. Pesquisas já mostraram resultados com efeitos nocivos do alumínio que ocorrem, principalmente, em plantas (SINGH et al., 2017), mas também há efeitos nocivos em peixes (KEGLEY et al., 2009) e em humanos, os quais evidenciaram uma possível relação da presença do alumínio com disfunções neurológicas como a encefalopatia dialítica e a doença de Alzheimer (PROLO et al., 2007; EXLEY, 2016).

Recuperar e reutilizar componentes do lodo, que são importantes, pode ser uma alternativa eficiente para reduzir o volume de resíduo para disposição final bem como economizar o custo de dosagem dos produtos recuperados (XU, ZHANG, LI, 2005). Alguns estudos feitos sobre as vantagens de reutilizar o lodo residual do tratamento de água para a recuperação dos coagulantes presentes nesse resíduo e o seu reuso posterior em tratamento de água ou efluentes possui benefícios tanto econômicos quanto ambientais (AHMAD et al., 2016).

Dentre os métodos, já estudados, de recuperação do agente coagulante, o mais encontrado é a acidificação, pois mostrou uma melhor relação de eficiência de remoção e custo (XU et al., 2009). Porém, ao mesmo tempo em que o ácido é capaz de solubilizar os agentes coagulantes, ele também pode solubilizar matéria orgânica e outros contaminantes inorgânicos (KEELEY, JARVIS, JUDD, 2014), sendo tal efeito indesejável para a obtenção de um produto passível de reutilização.

Keeley et al. (2015) estudaram a recuperação via alcalina-ácida do agente coagulante a base de ferro e notaram que esse processo combinado é eficaz na separação do ferro da matéria orgânica devido à diferença de solubilidade em meio alcalino. Com base nessa tese, pretende-se utilizar os princípios estabelecidos por esses autores na recuperação do agente coagulante a base de alumínio, visto sua ampla utilização nas ETAs bem como todos os efeitos resultantes do descarte inadequado dos resíduos.

OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de avaliar o processo de recuperação e reutilização do agente coagulante, a base de alumínio, presente no lodo residual do processo de tratamento de água de uma estação de tratamento real.

METODOLOGIA

• Amostragem

As amostras de lodo de ETA foram coletadas na Estação de Tratamento de Água do município de Presidente Prudente – SP, que opera em ciclo convencional e utiliza o policloreto de alumínio (PAC) como agente coagulante. A amostragem ocorreu durante o período de limpeza dos decantadores, o material foi acondicionado em bombonas de polietileno e encaminhado para os laboratórios de pesquisa.

• Tratamento da amostra

O material foi desaguado em um leito de secagem simples, composto por camadas de brita de diversas granulometrias e manta filtrante (feltro), dispostos em uma caixa plástica de polietileno de alta densidade (PEAD), e expostos ao Sol. Devido à dificuldade de secagem, o material foi encaminhado à estufa, em temperatura por volta de 90° C, até ser observada a ausência de umidade.

O sólido retido no meio filtrante foi denominado de Torta de Lodo Desaguado (TDL). A TDL foi destorroada, moída e passada em peneira com abertura de 2 mm de malha. A composição geral da TDL foi caracterizada utilizando a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), acoplado em detector de elétron dispersivo (EDS).

- **Recuperação do coagulante**

A recuperação do coagulante foi feita utilizando a rota alcalina-ácida, considerando que esse método possui a vantagem de solubilizar uma parcela muito pequena de matéria orgânica presente na TDL. Para isso, foi utilizado o método descrito por Keeley et al. (2015) que consiste na homogeneização da TDL em água deionizada, extração alcalina em pH 12 e, posteriormente, extração ácida pH 2.

Assim, 100 g da TDL foram misturadas em 1L de água deionizada por 24h, mantendo agitação constante e suficiente para evitar a deposição de material sólido. Após esse processo, o pH foi elevado a 12 por adição de solução de NaOH, permanecendo em agitação contínua por mais 24h. Medidas de pH foram aferidas continuamente observando a manutenção do valor do pH em 12 durante o período de mistura e, ao final do período, foi amostrado alíquotas do sobrenadante para análise da concentração de alumínio por absorção atômica.

Em seguida, iniciou-se a extração ácida, o pH foi, então, levado a 2 por adição de solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) por mais 24h, mantendo agitação constante e a manutenção do pH em 2. Novamente ao final do período, foram amostradas alíquotas do sobrenadante para a mesma análise descrita anteriormente.

Por fim, a solução foi filtrada (fibra de vidro ϕ 1,2 μ m) com o auxílio de uma bomba. A fração líquida do processo, contendo o coagulante solubilizado, foi denominada de Coagulante Recuperado do Lodo (CRL) e o material sólido resultante, denominado de Resíduo Final do Lodo (RFL). Todos os processos desse ensaio foram realizados em triplicata.

- **Reutilização do CRL**

Na reutilização, ensaios em Jar Test (Milan, modelo 303m) foram empregados para avaliação do desempenho do CRL em relação ao agente coagulante comercial empregado na ETA (PAC - 4%) na remoção da turbidez das águas brutas que abastecem o município.

Os testes utilizaram de 500 mL de água bruta a ser tratada e ocorreram a temperatura ambiente, com mistura rápida a 120 rpm por 4 minutos, 20 minutos de mistura lenta a 40 rpm (floculação) e 30 minutos de sedimentação. Após, uma alíquota do sobrenadante foi levada para a análise de turbidez.

A condição ótima do PAC foi idealizada para ser determinada variando o volume dosado, de 1,0 a 20,0 mL/L (com intervalo de 5,0 mL/L) e com pH variando de 6 a 8, porém, no volume dosado de 5,0 mL/L notou-se a ausência de coagulação. Portanto um novo intervalo de ensaio foi determinado variando os volumes dosados de 0,5 a 2,0 mL/L, com intervalo de 0,5 mL/L.

Para os ensaios com o CRL o volume dosado foi de 1,0 a 20,0 mL/L, com intervalo de 5 mL/L e pH variando de 6 a 8. Devido à mudança do intervalo do volume dosado para a utilização do PAC, nos ensaios com o CRL também foram adicionados os volumes dosados de 0,5, 1,5 e 2,0 mL/L, para se ter um parâmetro de comparação.

Soluções diluídas de NaOH ou H₂SO₄ foram utilizadas para o ajuste do valor de pH ao valor desejado. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 contém a composição geral da TDL, que foi feita utilizando a Microscopia Eletrônica de Varredura.

Tabela 1: Composição geral da TDL.

Elemento	Espectro 1	Espectro 2	Espectro 3	Espectro 4	Espectro 5	Espectro 6
	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)
C	1.27	-0.38	1.3		8.08	7.62
O	52.13	63.3	69.35	62.32	71.78	66.78
Mg	0.79	0.8	0.48	0.8	0.63	0.76
Al	14.65	14.59	7.31	15.52	8.73	11.04
Si	15.33	15.2	20.06	16.35	8.84	10.87
Cl	0.16	0.16		0.13	0.05	0.1
K	1.21	0.79	0.24	0.61	0.44	0.36
Ca	0.55	0.27	0.07	0.21	0.08	0.13
Ti	1.55	0.62	0.22	0.54	0.25	0.32
Fe	11.95	4.54	0.98	3.44	1.12	1.98
Cu	0.41	0.11		0.08		0.05

As características do lodo de uma ETA dependem, principalmente, dos produtos e processos utilizados no tratamento e das características das águas do manancial de captação, e essas dependem também da sazonalidade, devido à influência de períodos chuvosos ou secos.

Uma das características esperadas, e desejadas, era que o lodo possuísse uma concentração, relativamente, alta de alumínio, já que a ETA utiliza o PAC como coagulante, para que o ensaio de recuperação fosse, então, possível. A MEV mostrou que tal presença era verdadeira, além de mostrar, também, alta concentração de silício, que era outra característica prevista devido à amostragem durante o período chuvoso que resulta em grande carreamento de sedimentos do solo para o leito dos cursos d'água.

A Tabela 2 traz informações sobre as concentrações de alumínio presentes no CRL após a etapa de extração alcalina em pH 12 e após a etapa posterior de extração ácida em pH 2, que foram determinadas através do ensaio de absorção atômica.

Tabela 2: Concentração de Alumínio no CRL.

Amostra	Extração	Concentração (mg/L)
1	Alcalina	845,1
2	Alcalina	879,1
3	Alcalina	851,2
1	Ácida	994,3
2	Ácida	1184,2
3	Ácida	1251,6
Média	Alcalina	858,5
	Ácida	1143,4

Considerando que após a extração ácida tem-se a capacidade máxima de extração do CRL da TDL, nota-se que após a extração alcalina já se atinge 75% dessa capacidade, dado importante para mostrar a vantagem da recuperação via alcalina-ácida sobre a via somente ácida, principalmente quanto à solubilização de matéria indesejável.

O PAC-4% foi utilizado como parâmetro, ele possui, então, 4000 mg/L do agente coagulante a base de alumínio. Apesar da concentração obtida no ensaio de absorção atômica, ainda não se têm informações sobre a estrutura em que se encontram os componentes de alumínio do CRL, até mesmo suas propriedades coagulantes eram incertas.

As Tabelas a seguir mostram os resultados dos ensaios de Jar Test utilizando o PAC-4% e o CRL, os quais possibilitaram observar alguns comportamentos na utilização dos dois produtos e determinar algumas relações entre os dois agente coagulantes. A água bruta amostrada possuía turbidez inicial de 29,9 NTU e pH 7,27.

Tabela 3: Turbidez da água após Jar Test utilizando volume de dosagem de 0,5 mL/L.

pH	Turbidez 1 (NTU)	Turbidez 2 (NTU)	Eficiência de remoção (%)
PAC			
6	3,45	3,43	88,49
7	1,33	1,88	94,63
8	1,17	1,05	96,27
CRL			
6	5,50	5,93	80,89
7	3,69	3,77	87,53
8	4,44	4,43	85,17

Tabela 4: Turbidez da água após Jar Test utilizando volume de dosagem de 1,0 mL/L.

pH	Turbidez 1 (NTU)	Turbidez 2 (NTU)	Eficiência de remoção (%)
PAC			
6	7,43	7,03	75,82
7	1,10	1,49	95,67
8	0,64	0,59	97,94
CRL			
6	5,69	4,82	82,42
7	6,64	7,31	76,67
8	3,73	2,64	89,35

Tabela 5: Turbidez da água após Jar Test utilizando volume de dosagem de 1,5 mL/L.

pH	Turbidez 1 (NTU)	Turbidez 2 (NTU)	Eficiência de remoção (%)
PAC			
6	2,22	1,88	93,14
7	1,06	0,98	96,59
8	1,36	1,85	94,63
CRL			
6	3,28	4,22	87,56
7	3,96	4,01	86,67
8	2,15	3,00	91,39

Tabela 6: Turbidez da água após Jar Test utilizando volume de dosagem de 2,0 mL/L.

pH	Turbidez 1 (NTU)	Turbidez 2 (NTU)	Eficiência de remoção (%)
PAC			
6	12,0	9,39	64,23
7	3,79	3,68	87,51
8	6,86	12,0	68,46
CRL			
6	4,04	3,28	87,76
7	5,03	5,98	81,59
8	2,97	4,50	87,51

Analisando os resultados é possível notar que o melhor rendimento na utilização do PAC ocorreu em pH 8 e volume de dosagem de 1,0 mL/L que teve 97,94% de eficiência de remoção. Já para o CRL ocorreu, também, em pH 8 mas em volume de 1,5 mL/L, cuja eficiência de remoção foi de 91,39%.

A variação do pH e volume de dosagem mostraram que para o PAC, os melhores rendimentos ocorrem em pH 7 e 8, pois em todo os casos, quando em mesmo volume de dosagem, em pH 6 o rendimento foi inferior. Com o CRL, não houve um comportamento coerente, ao analisar a variação de pH em mesmo volume de dosagem, o pH 8 foi o melhor em dois casos e em nenhum dos casos foi o pior, evidenciando que, talvez, ele trabalhe melhor em pH próximo a 8.

Ambos mostraram um pior rendimento com o aumento do volume de dosagem já a partir de 2,0 mL/L, o PAC não apresentou coagulação em 5,0 mL/L. Portanto, o CRL mostrou sofrer menor influência da variação do pH e do volume de dosagem que o PAC, mas os melhores resultados ainda são do PAC, e isso era esperado.

Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2006), o valor máximo permitido (VMP) para turbidez em águas destinadas ao consumo humano é de 1 NTU, sendo permitido até 5 NTU em pontos da rede de distribuição se for demonstrado que a desinfecção não é comprometida. Com a utilização do PAC atingiu-se o VMP no melhor rendimento, com a utilização do CRL não, mas há valores entre 1 e 5 NTU, dependendo, então, de outros fatores para que esteja dentro do VMP..

CONCLUSÕES

Dentro da proposta do trabalho, de realizar ensaios preliminares para avaliar a recuperação e reuso de componentes de um resíduo, os resultados foram muito satisfatórios, pois a reutilização do componente recuperado mostrou eficiência, relativamente, próxima à eficiência de quando se utiliza o produto original para o parâmetro turbidez, além de atingir valores próximos aos permitidos para o consumo humano.

A turbidez foi escolhida como parâmetro, pois é a mais notável dentro do processo do Jar Test para avaliar a eficiência do produto utilizado. Como o ensaio era preliminar, o interesse era saber se o produto possuía potencial de ser utilizado como agente coagulante, os resultados trouxeram a confirmação e a partir disso, abre-se a possibilidade de avaliar outros parâmetros da qualidade da água tratada por esse produto e, então, sua viabilidade.

Enfatizando que o interesse principal dessa proposta é ambiental, ou seja, retirar os componentes, do lodo residual, que possuem potencial de causar danos ao meio ambiente. O fato de que esses componentes possuem, potencialmente, um benefício econômico vai de encontro ao interesse dos gestores prestadores dos serviços de tratamento de água, para que a destinação final adequada do lodo afete menos o orçamento da empresa. Por conta disso, que os processos de recuperação foram, relativamente, simples, facilitando o a adequação à aplicação em escala real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISSO 24512. Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e para a avaliação dos serviços de água potável. 2012.
2. ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. *Eng. Sanit. Ambient.*, v.82, n.2. 2013.
3. AHMAD, T.; AHMAD, K.; AHAD, A.; ALAM, M. *Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. Journal of Environmental Management*, v.182. 2016.
4. AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM M. *Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. Journal of Cleaner Production*. 2016.
5. BRASIL. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Secretaria de Vigilância em Saúde, Brasília: Ministério da Saúde. 2006.
6. DASSANAYAKE, K.B.; JAYASINGHE, G.Y.; SURAPANENI, A.; HETHERINGTON, C. *A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges. Waste Management*. 2015.
7. EXLEY, C. *The toxicity of aluminium in humans. Morphologie*. 2016.
8. KEELEY, J.; JARVIS, P.; JUDD, S.J. *Coagulant Recovery from Water Treatment Residuals: A Review of Applicable Technologies. Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2014.
9. KEELEY, J.; JARVIS, P.; SMITH, A.D.; JUDD, S.J.; *Coagulant recovery and reuse for drinking water treatment, Water Research*. 2015.
10. KEGLEY, S.E.; HILL, B.R.; ORME, S.; CHOI, A.H. *PAN Pesticide Database. Pesticide Action Network, North America, San Francisco, CA*. 2009.
11. PROLO, P.; CHIAPPELLI, F.; CRASSO, E.; ROSSO, M.G.; NEAGOS, N.; DOVIO, A.; SARTORI, M.L.; PEROTTI, P.; FANTO, F.; CIVITA, M.; FIORUCA, A.; VILLANUEVA, P.; ANGELI, A. *Aluminium blunts the proliferative response and increases apoptosis of cultured human cells: Putative relationship to Alzheimer's disease. Bioinformation*, v.2. 2007.
12. SINGH, S.; TRIPATHI, D.K.; SINGH, S.; SHARMA, S.; DUBEY, N.K.; CHAUHAN, D.K.; VACULÍK, M. *Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review. Environmental and Experimental Botany*, v.137. 2017.
13. XU, GR.; YAN, Z.C.; WANG, Y.C.; WANG, N. *Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. Journal of Hazardous Materials*, v.161. 2009.
14. XU, G.R.; ZHANG, W.T.; LI, G.B. *Absorbent obtained from CEPT sludge in waste water chemically enhanced treatment, Water Res.*, v.39. 2005.
15. ZHAO, Y.Q.; BABATUNDE, A.O.; HU, Y.S.; KUMAR, J.L.G; ZHAO, X.H. *Pilot field-scale demonstration of a novel alum sludge-based constructed wetland system for enhanced wastewater treatment. Process Biochemistry*, v.46. 2011.