

II-1584 - SANEAMENTO CIRCULAR: RECUPERAÇÃO DE EXOPOLÍMERO DE LODO DE ESGOTO E APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Amanda Borges Morais⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Planalto de Araxá – UNIARAXÁ. Técnica em Edificações pelo CEFET-MG.

Gabriel Lucas Araújo Viana⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Planalto de Araxá – UNIARAXÁ. Técnico em Eletromecânica pelo Sesi Senai, Araxá-MG.

Lorena Miranda de Almeida Silva⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Civil na área de Engenharia Urbana, Recurso Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia. Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro.

Lorena Bittencourt Guimarães Thibau⁽¹⁾

Mestre, Doutora e Pós-doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, Bacharel em Química Ambiental pela Universidade Estadual Paulista.

Endereço⁽¹⁾: –Avenida Ministro Olavo Drummond, 5, Bairro São Geraldo, Araxá, MG. - Tel: (34) 99926-6479 - e-mail: amandamoraisibia@gmail.com

RESUMO

O lodo é um dos subprodutos gerados durante o processo de tratamento de esgoto nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Nos últimos anos houve um aumento considerável no tratamento de esgoto, devido ao crescimento da população, gerando uma maior produção de lodo. Nos processos biológicos de tratamento de águas residuárias, os microrganismos produzem quantidade significativa de substâncias poliméricas extracelulares (EPS), nas quais o biofilme se estrutura. Alguns estudos demonstraram que estes EPS podem ser extraído do lodo biológico em quantidades consideráveis e serem reaproveitados e valorizados na forma de biopolímeros. O biopolímero conhecido como Alginate-like exopolymer (ALE), extraído de lodo biológico aeróbio granular já é conhecido comercialmente como Kaumera. Contudo, poucos estudos demonstraram a extração de ALE de lodos anaeróbios e suas possibilidades de aplicação. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi extrair ALE de lodo anaeróbio de uma ETE de esgoto municipal Araxá-MG e testar sua utilização como coagulante no tratamento de água. Foram coletadas e caracterizadas amostras de lodo de um reator UASB e em seguida foi extraído o ALE do lodo. O ALE foi quantificado e qualificado para depois ser direcionado para ensaios de Jar Test como coagulante. Os ensaios foram realizados utilizando argila branca para conferir turbidez à água de estudo e o coagulante ALE foi preparado numa concentração de 1000 mg/L. Foram realizados dois testes com dosagens de coagulante distintos, variando-se também o pH com uma solução de NaOH 0,5 M. O ALE extraído demonstrou propriedades de hidrogel, uma vez que formaram grânulos (beads) de gel iônico e biofilme. Como resultado de IVL, encontramos um volume decantado de 850 mL para março e 510 mL para maio. Também, notou-se uma recuperação média de que variou de 4 a 50 % de ALE do lodo. Para a etapa de teste do ALE como coagulante químico, foi realizada uma coleta de lodo no mês de jan/23 no Reator UASB (0,5 m do fundo) e extraído o ALE em grande escala. Como resultado do ensaio do Jar Test, foram alcançados pHs de coagulação entre 6,95 e 7,6 que proporcionaram eficiência de remoção de turbidez variando de 4,76 % a 42,86 % com distribuição aleatória. No entanto, devido a utilização da argila branca como material para gerar turbidez na água destilada, não se pode afirmar ainda que a baixa turbidez foi resultado da remoção pelo coagulante em estudo ou pela própria decantação do material suspenso. Mais testes são necessários utilizando o ALE coagulante para remoção de turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo, ETE, Coagulante ALE, Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A necessidade por melhorias nos sistemas de tratamento de esgotos sanitários é evidenciada pelo crescimento populacional e pela demanda por recursos naturais (MOURA AFF, *et al.*, 2020). Durante o tratamento de esgoto são gerados diversos subprodutos, sendo um deles o lodo biológico, rico em matéria orgânica,

nutrientes e micro-organismos, estes por sua vez podem ser patogênicos (ANDREOLI, 2006). Desta forma, o lodo deve ser tratado e descartado de forma correta, a fim de não poluir o meio ambiente e transmitir doenças, e apesar de corresponder de 1 a 2% do volume do esgoto tratado, seu gerenciamento tem um custo em torno de 20 a 60% do total gasto com a operação de uma estação de tratamento de esgoto (VANZETTO, 2012).

Mundialmente tem sido estimulada a reciclagem como destinação final do lodo (BATISTA, 2015), buscando agregar valor a um subproduto que gera custos para ETEs e que pode ser reaproveitado em diversos setores. As técnicas mais utilizadas hoje são a incineração, disposição em aterros sanitários e uso agrícola. No setor industrial, o lodo pode ser usado como matéria prima na fabricação de tijolos cerâmicos, como substituinte parcial da argila (ZAT et al., 2021). No Brasil, sua destinação final mais comum é em aterros sanitários, mas esse tipo de descarte vai contra a Política Nacional de Resíduos Sólidos que prevê a redução de resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários (GODOY, 2013). O volume gerado, as limitações na localização de áreas para destinação, além do elevado custo de transporte, faz com que a gestão desse resíduo seja complexa (BATISTA, 2015), fazendo necessário o estudo da viabilidade para a recuperação de recursos a partir desse resíduo.

Grande porção do peso seco do lodo são substâncias poliméricas extracelulares – EPS, nas quais o biofilme se estrutura, sendo essas aplicáveis em vários campos (ROCHA, 2022). Foi verificado que os polímeros extracelulares de lodos ativados e de lodo granular aeróbio e anaeróbio se comportam como alginato, sendo assim conhecido como ALE (GUIMARÃES, 2017; CAETANO, MORAIS *et al.*, 2022). O alginato, por sua propriedade de hidrogel, é um biopolímero usado para uma variedade de aplicações industriais, além da possível aplicação no processo de tratamento de água, pois estudos já mostraram a eficiência de ALE na remoção de cor (LADNORG *et al.*, 2019) e de fosfato (DALL’AGNOL, 2020). Contudo, o biopolímero ALE ainda foi pouco explorado em lodos provenientes de processos anaeróbios.

A tecnologia de tratamento de água conhecida como ciclo completo é uma das mais utilizadas no Brasil, ela abrange as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (ISMAIL *et al.*, 2019). No início do tratamento, a coagulação tem por função ocasionar a desestabilização das partículas de impurezas presentes na água, provocando a aglomeração dessas (floculação) e possibilitando a remoção por sedimentação (HELLER; PÁDUA, 2010). Na etapa de coagulação, os principais tipos de coagulantes aplicados nas ETAs (Estações de Tratamento de Água) do país são coagulantes inorgânicos, como sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxiclreto de alumínio e sulfato férrico (VAZ et al., 2010).

A problemática da destinação do lodo gerado no tratamento de esgoto aplica-se também às ETAs. Consoante Ismail e colaboradores (2019), para os resíduos gerados pelo tratamento de água, oriundos das descargas de decantadores (ou flutadores) e da lavagem de filtros, há necessidade de tratamento antes da disposição final, por possuírem compostos químicos, como metais, prejudiciais ao meio ambiente. Assim, a utilização de coagulantes naturais é benéfica quanto à disposição do resíduo gerado na ETA, pois não dispõe de metais pesados na composição do lodo. Ainda que os coagulantes químicos apresentem bom desempenho e custo-eficácia, o estudo de coagulantes/floculantes orgânicos é crescente e promissor, alguns de origem vegetal (coagulantes naturais) estão em destaque entre os trabalhos acadêmicos, como é o caso da *Moringa oleífera* (advindo da semente da planta) e do tanino (extrato extraído de plantas), que são biopolímeros que atuam como auxiliar na redução do consumo do coagulante químico ou como coagulante principal em substituição de polímeros sintéticos (FRANCO *et al.*, 2017; ISMAIL *et al.*, 2019).

Conforme Ismail e colaboradores. (2019), coagulantes inorgânicos exigem maior controle do pH da água para a desestabilização das partículas coloidais e suspensas presentes, enquanto estudos apontam que em muitos casos, na aplicação de biopolímeros para a coagulação, dispensa-se também o uso de produtos químicos (ácidos ou bases) para ajuste do pH, o que facilita a operação da ETA, além de resultar em lodo proveniente do tratamento de água composto principalmente por matéria orgânica.

Dessa forma, este trabalho buscou estudar a recuperação de ALE de lodo anaeróbio de ETE municipal e realizar sua aplicação como coagulante orgânico no tratamento de água. O lodo estudado foi extraído da ETE Central, localizada na cidade de Araxá, Minas Gerais, Brasil.

OBJETIVOS

O objetivo dessa pesquisa foi extrair, quantificar e qualificar ALE proveniente do lodo anaeróbio de reator UASB da ETE Central de Araxá-MG, e testar sua aplicação como coagulante no tratamento de água, investigando sua capacidade de remoção de turbidez.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta, caracterização do lodo e extração de ALE

O lodo em estudo foi coletado (5L) mensalmente a 2 m do fundo (janeiro a abril/2022), e a 0,5 m do fundo do mesmo reator UASB em janeiro de 2023. O reator UASB compõe o tratamento secundário da ETE Central de Araxá-MG. O lodo foi caracterizado quanto ao índice volumétrico de lodo (IVL) e a quantificação da série de sólidos totais, fixos e voláteis (ST, SF e SV) de acordo com Standard Methods (APHA, 2005). A metodologia utilizada para realizar a extração de ALE do lodo seguiu de acordo com Felz et al. (2016), conforme Figura 1.



Figura 1 – Esquema de extração de EPS e ALE com base em Felz *et al.* (2016).

O lodo foi centrifugado a 4300 rpm por 25 min e a porção decantada foi destinada para a extração alcalina de ALE.

Utilizou-se cerca de 300g de lodo úmido centrifugado, o qual foi misturado com 500 mL de água desmineralizada e adicionado 25 g de Na_2CO_3 para elevar o pH para aproximadamente 10. Em seguida, a

mistura foi aquecida até 80° C e agitada a 400 rpm e por 35 minutos. Após isso, a mistura foi novamente centrifugada a 4300 rpm por 25 minutos, e o sobrenadante contendo o ALE solubilizado foi coletado, sendo que cerca de 1/3 (50 mL) foi utilizado para quantificação dos sólidos e os outros 2/3 foram usados para precipitação do ALE. Para a precipitação do ALE, adicionou-se HCl (1 M) até que o pH atingisse $2,20 \pm 0,05$. Em seguida, a solução foi centrifugada a 4300 rpm por 25 minutos para separar o sobrenadante do ALE. Ao precipitado foi gotejada uma solução de NaOH (1 M) até que obtivesse pH de $8,5 \pm 0,05$. A propriedade de formação de beads do ALE foi testada adicionando ALE com pH elevado à uma solução de CaCl₂ à 2% (m/v) (LI; SHARMA; VAN LOOSDRECHT, 2013).

Capacidade do ALE na remoção de turbidez

A porcentagem de umidade em 6,65 g de ALE precipitado foi caracterizada e demonstrou ser 93,5%, assim apenas 6,5% do ALE úmido corresponde à massa do material coagulante. Após o acréscimo de NaOH, o volume de solução obtido foi de 7,4 mL. Desta forma, a concentração do “ALE com pH elevado” foi de 58,4 g.L⁻¹. Portanto, nesta etapa, foi preparada uma solução com 5 ml do “ALE com pH elevado” em 292 mL de água desmineralizada, obtendo concentração de 1000 mg/L de “coagulante ALE”, a fim de servir de coagulantes nos testes adiante.

Para os testes de bancada, realizados no Jar Test, foi fabricada uma solução-mãe à base de argila branca e água desmineralizada com a finalidade de controlar o nível de turbidez da água de estudo. A mistura sofreu agitação durante 6 horas e posteriormente foi deixada em repouso de 12 horas para sofrer decantação. Vencendo o prazo, o sobrenadante foi coletado e incorporado na água de estudo até alcançar uma turbidez de aproximadamente 50 UNT. Os equipamentos utilizados nos testes de bancada estão representados na Figura 2.

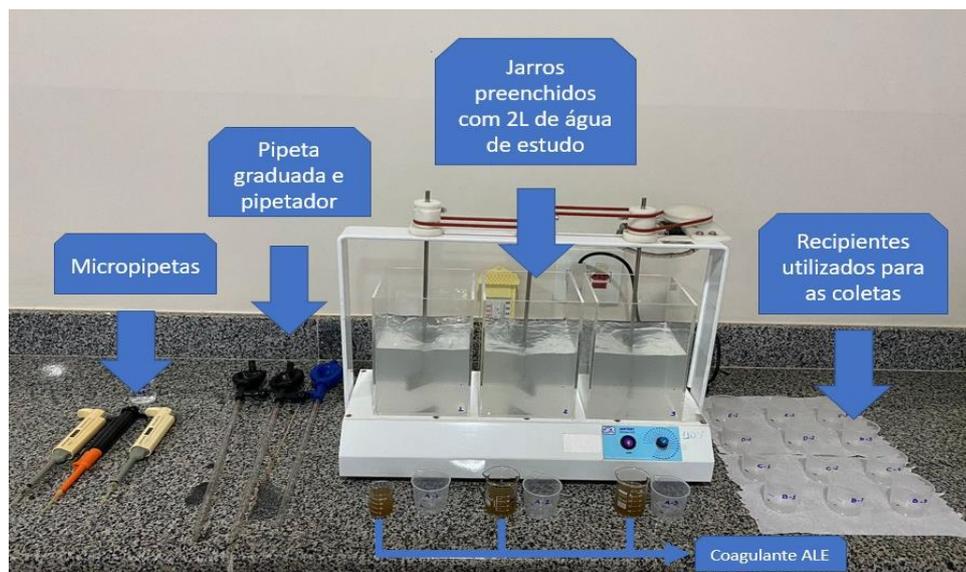


Figura 2 – Disposição dos materiais para realização dos testes.

Para o primeiro teste de bancada foram utilizadas as dosagens de NaOH 0,5 M de 0,0 mL (sem adição), 0,1 mL e 0,2 mL, respectivamente, nos jarros 1, 2 e 3, estabelecendo assim diferentes pHs de coagulação na água de estudo. A dosagem de coagulante ALE foi fixada em 10 mL nos três jarros, resultando em uma concentração de 5 mg/L de coagulante em cada jarro. Para o segundo teste, foram utilizadas as dosagens de 0,1 mL de NaOH 0,5 M em todos os três jarros, e dosagens de 20 mL, 30 mL e 40 mL de coagulante ALE, nos jarros 1, 2 e 3, respectivamente, resultando nas dosagens de 10 mg/L, 15 mg/L e 20 mg/L. Todos os testes foram realizados em triplicata.

Com a água de estudo nos jarros e o equipamento funcionando em agitação lenta, o processamento no Jar Test iniciou-se com a adição da solução de NaOH e agitação rápida (gradiente de velocidade de 700 s⁻¹) por 10 s para adequação do pH. Em seguida, foi inserido o coagulante e permaneceu a rotação rápida por mais 10 s, simulando a etapa de coagulação na ETA. Uma amostra de cada jarro foi coletada para medição do pH de

coagulação. A velocidade de rotação foi então reduzida para o gradiente de velocidade de 25 s^{-1} e permaneceu em movimento por 20 min, simulando o processo de floculação. Ao final da floculação, o equipamento foi desligado, simulando a etapa de decantação. Foram realizadas 4 coletas de amostras por jarro em diferentes tempos de sedimentação, estabelecidos em intervalos de 5 minutos, iniciando a primeira coleta 5 minutos após a floculação. As amostras foram levadas ao turbidímetro para medição da turbidez remanescente da água.

RESULTADOS OBTIDOS

Nota-se na Tabela 1 que os sólidos totais variaram muito a cada coleta, sendo o valor mínimo 17,7 g/L e o máximo de 95,64 g/L. Esta diferença era esperada em virtude dos diferentes aspectos que o lodo se encontrava e foi percebido no momento da coleta. O lodo coletado no ponto mais fundo do reator (a 0,5m do fundo) apresentou aspecto bem mais escuro e denso, enquanto o lodo coletado a 2 m de altura apresentou-se mais claro e com maior teor de umidade. Encontrou-se uma fração orgânica que variou de 50,67 a 63,22% dos sólidos, e teor de umidade de 91,27 a 98,26%, indicando assim, que o lodo é majoritariamente composto de água. Estes valores se enquadram com as variações de lodo anaeróbico encontradas na literatura (VON SPERLING, 2012). O biopolímero extraído do lodo do reator UASB demonstrou a capacidade de formação de *beads* (Figura 3) e teor de umidade médio de 93,49%.

Tabela 1: Caracterização do lodo 2022/2023

Características do lodo anaeróbico do UASB	jan./22	fev./22	mar./22	abr./22	jan./23
ST lodo (g/L)	64,68	19,75	17,71	35,18	95,64
SF lodo (g/L)	26,11	9,74	6,601	14,21	35,00
SV lodo (g/L)	38,57	10,00	11,10	20,97	60,65
ST lodo (%)	6,08	1,94	1,74	3,40	8,73
SF lodo (%)	2,45	0,96	0,65	1,37	3,19
SV lodo (%)	3,62	0,98	1,09	2,03	5,53
Fração orgânica de sólidos (%)	59,63	50,67	62,75	59,63	63,22
Teor de umidade (%)	93,92	98,06	98,26	96,60	91,27



Figura 3 - Formação dos beads jan./2023

Como resultado dos primeiros testes de bancada (Jar Test) com o coagulante ALE 5 mg/L, foram alcançadas eficiências de remoção de turbidez para o $T = 20$ minutos variando de 23,81 % a 42,86%, para pHs de coagulação de 7,57 e 7,52 respectivamente, como mostra a Tabela 2. Já para o segundo teste, foram obtidos valores entre 4,76 % e 33,33 % de eficiências de remoção para o $T = 20$ minutos, com pHs de 7,58 e 7,05, respectivamente, conforme a Tabela 3.

Tabela 2: Resultados obtidos no primeiro teste

Dados Jarros 1								
Testes	Concentração de Coagulante (mg/L)	pH de Coagulação	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez 5' (UNT)	Turbidez 10' (UNT)	Turbidez 15' (UNT)	Turbidez 20' (UNT)	Eficiência final de remoção (T = 20')
1	5	7,20	49	41	37	36	37	24,49%
2	5	7,33	51	42	38	37	33	35,29%
3	5	7,57	42	35	34	31	32	23,81%

Dados Jarros 2								
Testes	Concentração de Coagulante (mg/L)	pH de Coagulação	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez 5' (UNT)	Turbidez 10' (UNT)	Turbidez 15' (UNT)	Turbidez 20' (UNT)	Eficiência final de remoção (T = 20')
1	5	7,50	47	42	37	36	33	29,79%
2	5	7,42	48	40	40	36	33	31,25%
3	5	7,52	49	39	38	29	28	42,86%

Dados Jarros 3								
Testes	Concentração de Coagulante (mg/L)	pH de Coagulação	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez 5' (UNT)	Turbidez 10' (UNT)	Turbidez 15' (UNT)	Turbidez 20' (UNT)	Eficiência final de remoção (T = 20')
1	5	7,60	47	39	39	35	35	25,53%
2	5	7,40	47	36	40	36	35	25,53%
3	5	7,51	46	38	32	31	29	36,96%

Tabela 3: Resultados obtidos no segundo teste

Dados Jarros 1								
Testes	Concentração de Coagulante (mg/L)	pH de Coagulação	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez 5' (UNT)	Turbidez 10' (UNT)	Turbidez 15' (UNT)	Turbidez 20' (UNT)	Eficiência final de remoção (T = 20')
1	10	7,14	46	44	42	41	36	21,74%
2	10	7,54	48	39	32	32	32	5,13%
3	10	7,58	49	36	37	36	35	4,76%

Dados Jarros 2								
Testes	Concentração de Coagulante (mg/L)	pH de Coagulação	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez 5' (UNT)	Turbidez 10' (UNT)	Turbidez 15' (UNT)	Turbidez 20' (UNT)	Eficiência final de remoção (T = 20')
1	15	7,05	39	46	40	39	37	33,33%
2	15	7,34	47	38	34	34	33	29,79%
3	15	7,50	51	38	39	37	38	15,91%

Dados Jarros 3								
Testes	Concentração de Coagulante (mg/L)	pH de Coagulação	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez 5' (UNT)	Turbidez 10' (UNT)	Turbidez 15' (UNT)	Turbidez 20' (UNT)	Eficiência final de remoção (T = 20')
1	20	6,95	42	44	47	44	40	28,57%
2	20	7,10	-	44	38	37	37	25,49%
3	20	7,40	46	43	42	41	37	19,57%

Foram alcançados pHs de coagulação variando entre 6,95 e 7,60, nos dois testes. Para T = 5 minutos, como mostra a Figura 4, foi observada uma melhor remoção quando alcançados pHs mais altos e menores dosagens de coagulante. Foi observada que o teste utilizando a dosagem de 10 mg/L em um pH de 7,58 obteve remoção média de 26,53 %, sendo a maior eficiência de remoção deste teste. Em contrapartida, a dosagem de 20 mg/L alcançou baixa eficiência de remoção, obtendo 8,7 % de eficiência de remoção como melhor resultado, quando utilizado pH de 7,4. Já para T = 10 minutos, a dosagem de 10 mg/L continuou obtendo melhor remoção com o pH mais alto trabalhado, alcançando uma eficiência de remoção de 33,33% para o pH de 7,54.

Assim como T = 5 minutos, a maior dosagem de coagulante continuou com baixa remoção, sendo alcançada uma eficiência de remoção máxima de 13,64% para pH de 7,4 (Figura 5).

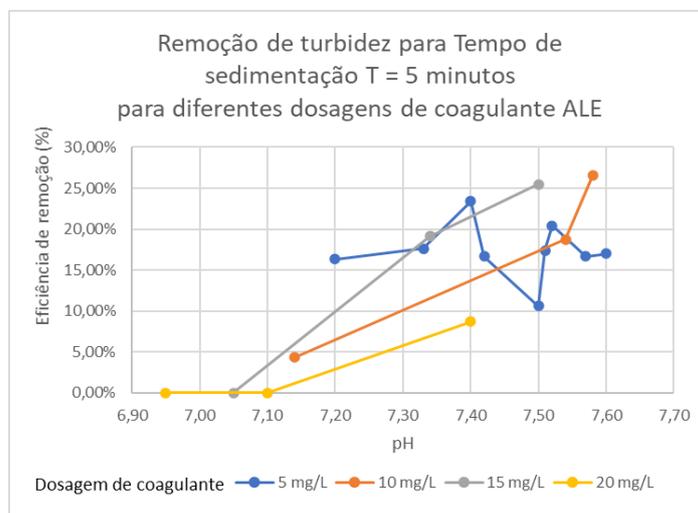


Figura 4 – Remoção de turbidez para tempo de sedimentação igual a 5 minutos para diferentes dosagens de coagulante ALE.

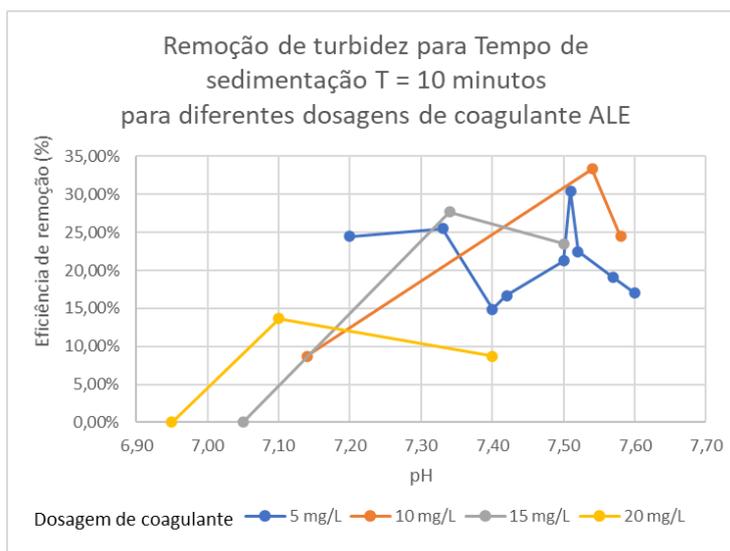


Figura 5 – Remoção de turbidez para tempo de sedimentação igual a 10 minutos para diferentes dosagens de coagulante ALE.

Observando a Figura 6, em T = 15 minutos a dosagem utilizada de 5 mg/L alcançou eficiência máxima de 40,82% para pH de 7,52 e menores remoções foram encontradas com as dosagens de 15 mg/L e 20 mg/L, obtendo valores iguais a 0 % de eficiência de remoção para pHs de 7,05 e 6,95, respectivamente. À medida que o pH foi aumentado, a eficiência de remoção de turbidez elevou-se para essas dosagem, chegando a 15,91% para dosagem de 20 mg/L com pH de 7,1 e 27,66% para dosagem de 15 mg/L com um pH de 7,34.

Para T = 20 minutos foram alcançadas eficiências de remoção de turbidez maiores quando comparadas às obtidas nos tempos anteriores, prevalecendo as melhores remoções de turbidez com as menores dosagens trabalhadas, onde foram obtidas 42,86% de eficiência para a dosagem de 5mg/L trabalhada a um pH de 7,52 e 33,33% de eficiência para a dosagem de 10 mg/L para um pH de 7,54 (Figura 7).

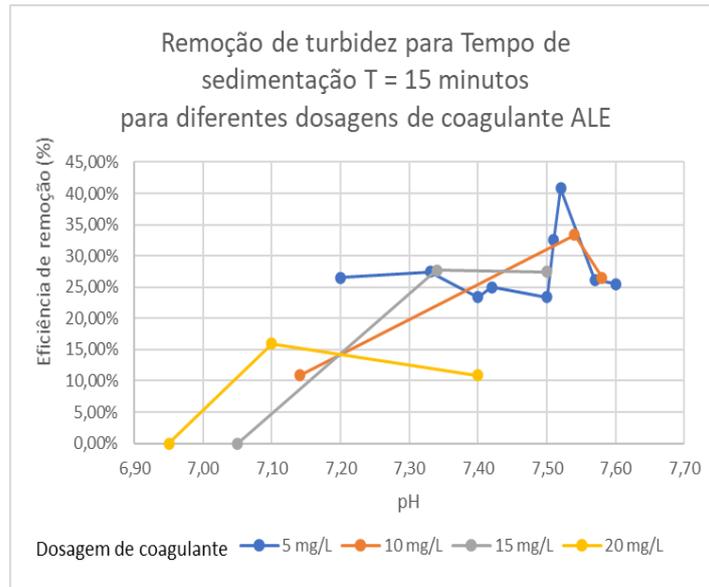


Figura 6 – Remoção de turbidez para tempo de sedimentação igual a 15 minutos para diferentes dosagens de coagulante ALE.

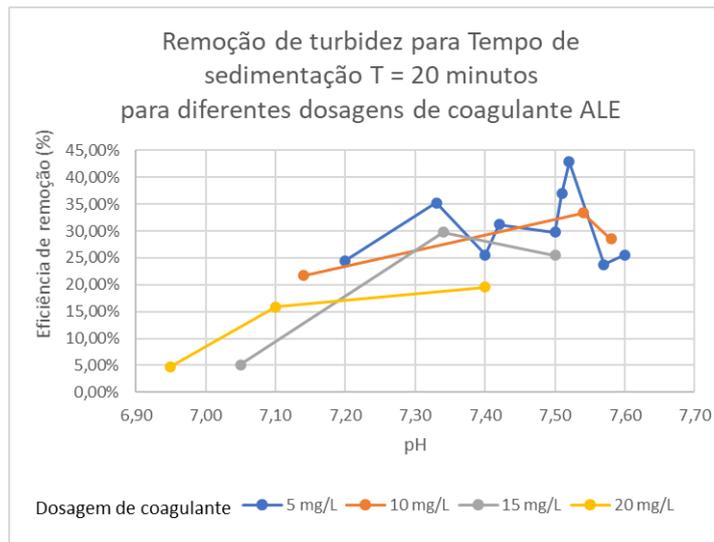


Figura 7 – Remoção de turbidez para tempo de sedimentação igual a 20 minutos para diferentes dosagens de coagulante ALE.

Serão necessários mais testes para compor o diagrama de coagulação de forma a permitir a identificação do ponto de pH ideal de coagulação com a dosagem ótima de coagulante. No entanto, com mais ensaios, espera-se chegar à conclusão sobre a influência do pH para a atuação do ALE como coagulante, se é fundamental seu controle, assim como os coagulantes químicos, ou se seu comportamento seguirá o de grande parte dos coagulantes orgânicos em que o pH não exerce grande influência na capacidade de remoção de turbidez, em que há necessidade de variar apenas a concentração de coagulante, conforme estudo de Ismail et al. (2019).

No entanto, devido a utilização da argila branca como material para gerar turbidez em água destilada, não se pode afirmar ainda que toda a diminuição de turbidez foi resultado da remoção pelo coagulante em estudo ou a própria decantação do material suspenso. O aumento na dosagem do coagulante também pode ter influenciado nos valores de elevadas turbidez remanescentes, pois não se sabe se houve diluição do coagulante na água, capaz de proporcionar turbidez na água de estudo. O coagulante ALE proveniente de lodo de esgoto anaeróbico ainda é de qualidade desconhecida, que poderá, com mais estudos, ser classificado como auxiliar na

coagulação (como muitos coagulantes poliméricos naturais) ou ainda como coagulante principal, como utilizado nesta pesquisa.

CONCLUSÕES

A partir do lodo anaeróbio residual do reator UASB da ETE Central de Araxá, foi observada a formação de beads do biopolímero extraído, indicando que o lodo anaeróbio coletado de ambas as alturas, 2,0 m e 0,5 m do fundo, apresentaram resultados satisfatórios na obtenção do ALE. Durante os testes de jarros, a dosagem de 5 mg/L de coagulante ALE, mostrou as melhores eficiências de remoção de turbidez. Como os valores obtidos ainda estão dispersos e a variação do pH foi baixa durante os testes, com mais testes será possível verificar se o coagulante ALE obterá melhores resultados de coagulação com pH mais elevado, próximo ao pH para obtenção do alginato. Concluiu-se que é necessário variar as condições de pH de coagulação e a quantidade de coagulante utilizada para obter melhores resultados, sendo assim, mais testes são necessários para confirmar o potencial do ALE como coagulante ou como auxiliar de coagulação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Cultural de Araxá (FCA) pela bolsa de iniciação científica, COPASA pela parceria. Agradecem também ao UNIARAXÁ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos de saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, p. 417, 2006.
2. APHA. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 22nd. ed. Washington, DC: American Water Works Association, 2012.
3. BATISTA, Lucilene Ferreira. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. 2015. xxvii, 197 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
4. CAETANO, MORAIS et al. **Recuperação e quantificação de biopolímero de lodo anaeróbio de tratamento de esgoto real**. In: XX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Aveiro, Portugal, 2022.
5. DALL'AGNOL, P. et al. A comparative study of phosphorus removal using biopolymer from aerobic granular sludge: A factorial experimental evaluation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 103541, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103541>
6. FRANCO, C. S., BATISTA, M. D. A., OLIVEIRA, L. F. C., KOHN, G. P., FIA, R. **Coagulação com semente de moringa oleífera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT**. Engenharia Sanitária Ambiental. v. 22, n. 4, p. 781-788, 2017.
7. GODOY, Lucia Camilo de. **A logística na destinação do lodo de esgoto**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Tecnologia em Logística) - Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2013.
8. GUIMARÃES, L. B. Caracterização microbiológica do lodo granular na remoção de nutrientes e potencial de recuperação de exopolímeros de efluentes em reatores em bateladas sequenciais. Florianópolis, 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.
9. HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. rev. e atual. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 872 p. (Vol. 2).
10. ISMAIL, I. A. L., DANTAS, A. D. B., BERNARDO, L. D., PASCHOALATO, C. F. P. R., GUIMARAES, M. A. R., **Uso de polímeros sintéticos e naturais no tratamento de resíduos de estação de tratamento de água**. In: 30º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, São Paulo, Brasil, 2019.
11. IWAKI, G. **Destinação Final de Lodos de ETAs e ETES**. Portal Tratamento de Água. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-finalde-lodos-de-etas-e-etes/> Acesso em: 30 de maio de 2017.
12. LADNORG, S.; JUNIOR, N. L.; DALL'AGNOL, P.; DOMINGOS, D. G.; MAGNUS, B.S.; WICHERN, M.; GEHRING, T.; DA COSTA, R.H.R. Alginate-like exopolymer extracted from aerobic granular sludge

- as biosorbent for methylene blue: Thermodynamic, kinetic and isotherm studies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 3, p. 103081 (2019).
13. LIN, Y. M.; SHARMA, P. K.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. The chemical and mechanical differences between alginate-like exopolysaccharides isolated from aerobic flocculent sludge and aerobic granular sludge. *Water Research*, v. 47, n. 1, p. 57–65, 2013.
 14. LIN, Y., DE KREUK, M., VAN LOOSDRECHT, M.C.M., ADIN, A., Characterization of alginate-like exopolysaccharides isolated from aerobic granular sludge in pilot-plant. *Water Research*.v. 44, p.3355–3364, 2010.
 15. MOURA AFF, et al. **Reaproveitamento energético do lodo de estação de tratamento de esgoto – uma revisão**. *J. Eng. Exact Sci.* [Internet]. 12 de dezembro de 2020.
 16. ROCHA, Pedro Henrique da. **Avaliação da recuperação de biopolímeros de lodo residual de processo biológico de tratamento de efluentes**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2022.
 17. Vanzetto, A.S. **Análise das alternativas tecnológicas de desaguamento de lodos produzidos em estações de tratamento de esgoto**. 2012. xx, 185 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
 18. VAZ, L. G. L. et Al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Revista Eclética Química**. vol.35. n.4, Araraquara-SP, 2010.
 19. VON SPERLING, M. **Lodos Ativados: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**,v.4., 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, p. 428, 2002.
 20. ZAT, T. et al. Potential re-use of sewage sludge as a raw material in the production of ecofriendly bricks. **Journal of Environmental Management**, v. 297, 2021.