I - 45 ASSOCIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORIUNDOS DE ÁGUAS EUTROFIZADAS GERADOS EM ETA'S CONVENCIONAIS

Romero correia Freire [(1)]
Mestrando em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE, químico pela Universidade Federal de Pernambuco. Biólogo pela Universidade de Pernambuco. Especialista em Saúde Pública pela Universidade de Pernambuco. Especialista no Ensino de Ciências pela Universidade de Pernambuco. Especialista em vigilância e saúde ambiental UFRJ, Especialista em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos IFCE/ANA, e tecnólogo em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE.

Ronaldo Faustino da Silva [(2)]
Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciado em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Especialização em Engenharia de Irrigação pela Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Universidade Cândido Mendes, Mestre em Gestão e Políticas Ambientais pela Universidade Federal de Pernambuco, Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Pós-graduação em Ecological Sanitation pelo Stockholm Environment Institute da Suécia, Professor Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE.

Valderice Pereira Alves Baydum [(3)]
Mestre em engenharia química pela Universidade Federal De Pernambuco - UFPE, Doutora em engenharia química pela Universidade Federal De Pernambuco - UFPE, Pós-doutorado pela RENORBIO, Professora Titular da universidade católica de Pernambuco - UNICAP.

Mayra Angelina Quaresma Freire [(4)]
Graduanda em engenharia civil pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Maria Clara Quaresma Freire [(5)]
Graduanda em engenharia civil pela Universidade de Pernambuco – Poli -UPE

Endereço (1): Rua Dois Irmãos, 1012 – Dois Irmãos – Recife - PE - CEP: 52071-440 - Brasil - Tel: (81) 34129977 - e-mail: romerocorreia@compesa.com.br

RESUMO

Os lodos gerados pelas ETA são classificados, de acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10.004 (ABNT, 2004), dentro dos resíduos sólidos e semissólidos e na Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estão estabelecidas as diretrizes nacionais para o manejo adequado desse lodo, com vistas à proteção da saúde pública e do meio ambiente (BRASIL, 2007).

O despejo do lodo sem tratamento adequado prejudica os mananciais superficiais que estão com sua qualidade bastante comprometida devido ao reduzido efeito de diluição e autodepuração. A carga poluidora lançada por uma cidade compromete a qualidade da água captada a jusante por outro município, promovendo efeitos em cascata de poluição. Durante a estiagem a situação é agravada, pois os reduzidos volumes nos mananciais acarretam numa maior concentração dos poluentes, causando eutrofização dos corpos hídricos. Por outro lado, a recirculação dos efluentes da ETA sem nenhum tipo de recuperação ou tratamento ineficiente pode promover um aumento na quantidade de sólidos prejudicando o próprio tratamento da água quando recirculado, essa alternativa gera não apenas impactos ambientais, mas também afetam à saúde humana, devido à grande quantidade de metais pesados e patógenos, principalmente cistos de Giardia e oocistos de Cryptosporidium que, devido a prática de recirculação de LETA pode constituir introdução de perigos no processo de tratamento da água e implicar risco à saúde da população consumidora. Isso porque, como a filtração representa a principal etapa do tratamento responsável pela remoção de protozoários e considerada

barreira sanitária da estação de tratamento, muitas vezes contém concentrações mais elevadas de cistos ou oocistos do que a própria água bruta (AB). Por estes motivos é importante o desenvolvimento de pesquisas que visam o tratamento correto dos resíduos gerados nessas unidades de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Flotação por ar dissolvido, floculação em bandejas, modificador de superfície, teor de sólidos.

INTRODUÇÃO

O lodo gerado nas estações de tratamento de água (ETA), vem atualmente despertando grande preocupação na comunidade científica, e tem ocorrida diversas pesquisas no que se refere principalmente ao tratamento desse resíduo e sua disposição final.

As tecnologias que vem sendo utilizadas no tratamento de lodo da estação de tratamento (LETA) são antigas, e foram projetadas para águas em condições totalmente diferente das atuais, por conta da mudança da qualidade das águas a remoção de compostos e microrganismos se torna complexa. Em virtude desse crescimento populacional, a demanda de água para abastecimento público torna-se cada vez maior e, em paralelo, o maior volume de esgotos (muitas vezes não tratados ou tratados de forma ineficiente) gerados pela população resulta na deterioração da qualidade da água bruta. A piora da qualidade das águas brutas tem como consequência aumento da geração de LETA. Esse resíduo tem origem, principalmente, nos decantadores e nas águas de lavagem dos filtros (ANDREOLI, 2006).

Em Pernambuco, das 248 ETA´s da COMPESA para consumo humano existentes, 73 são de ciclo completo, ou seja, 29,4%. Na tecnologia de tratamento de água por ciclo completo (coagulação, floculação, sedimentação, filtração), o mecanismo de coagulação utilizado é o de varredura, em que as dosagens de coagulantes são relativamente altas, com excessos de precipitados de alumínio ou ferro, causando a aglutinação das impurezas. Desta forma, esta tecnologia está geralmente associada ao maior consumo de produtos químicos, gerando um maior volume de resíduos, constituídos por sólidos e precipitados químicos, que compõem uma massa de partículas orgânicas e inorgânicas, densa e viscosa, este lodo necessita de tratamento específico para posterior disposição final no ambiente ou recirculação ao início do tratamento. O adensamento é uma das operações unitárias mais importantes do processo de tratamento da fase sólida e os equipamentos de desaguamento mecânico existentes no mercado recomendam um teor de sólidos no resíduo de entrada superior a 2% (20 g/L de SST) para que o seu funcionamento ocorra de forma adequada e econômica (Ferreira Filho e Além Sobrinho, 1998).

Na prática, grande parte das concessionárias de saneamento devolvem os resíduos ao corpo receptor sem tratamento, tratamento insuficiente ou recirculam para o início da ETA. Essas alternativas podem gerar impactos ambientais e a saúde pública já que o efluente contém patógenos e metais pesados.

MATERIAIS E MÉTODOS

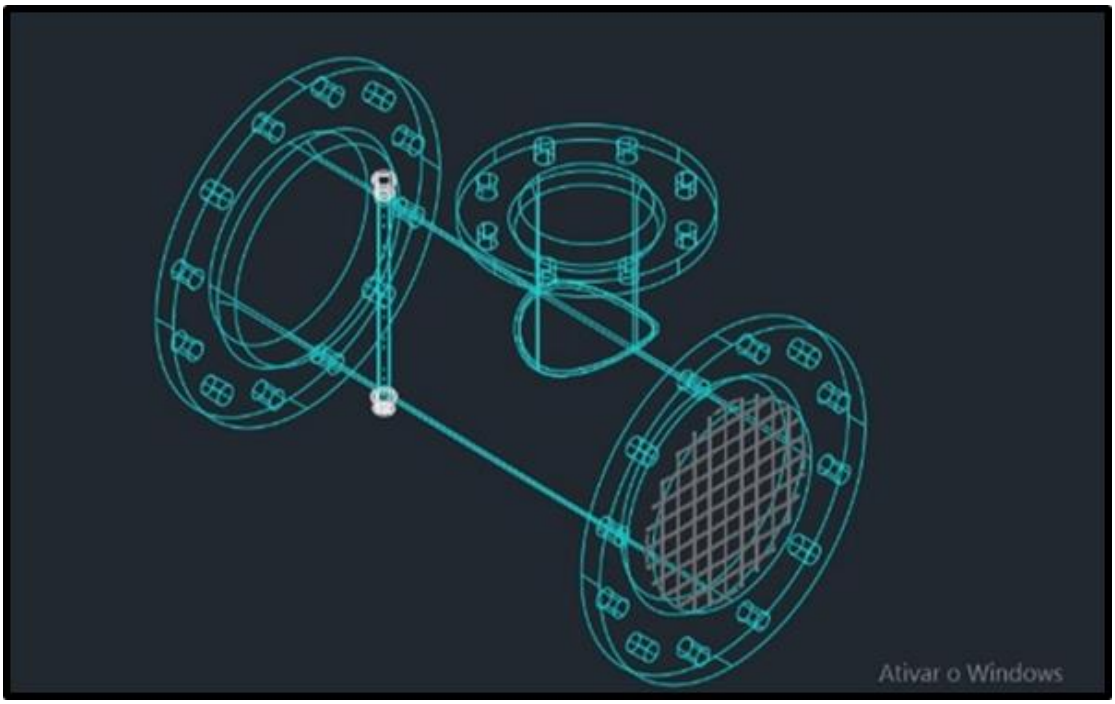
O piloto foi instalado na ETA Castelo Branco localizada no Recife/PE (Figura 1). Atualmente opera com 3,2 m3/s. A unidade de tratamento tem concepção ciclo completo.

Figura 1 - ETA Castelo Branco – RMR

Fonte (O Autor, 2022)

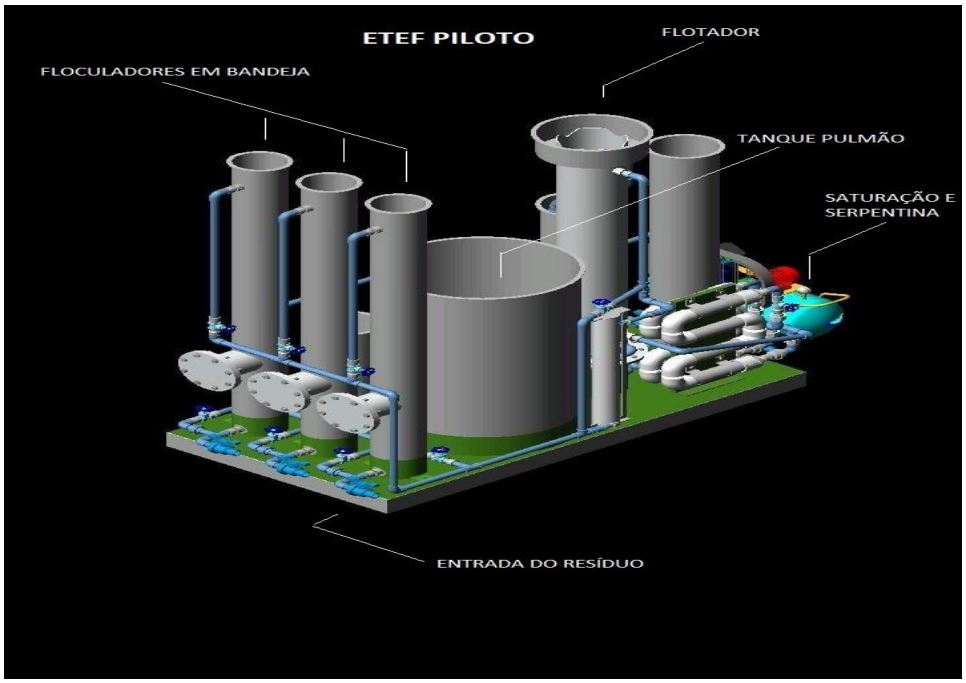
A ETEF piloto tem vazão nominal de 0,54 l/s, foi aplicado o polydadmac - poli (cloreto de dialil dimetil amônio), com alta carga e baixo peso molecular, com função de atuar como modificador de superfície, figura 5, indicado para lodo de águas eutrofizadas. A flotação por ar dissolvido (FAD), é um método de tratamento eficaz para clarificar a água carregada de algas/cianobactérias. O tratamento de algas pode ser problemático devido à demanda imprevisível de coagulante/floculante durante as florações. Para eliminar a grande dependência da floculação, o uso de polímeros ou surfactantes comerciais para alterar a carga das bolhas na FAD mostrou grande potencial, em particular para esses resíduos gerados na ETA Tapacurá, onde as águas têm períodos eutrofizados. No ensaio foram utilizadas as dosagens entre 0,5 a 3,0 mg pol/g SST (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0). O LETA foi transportado para dois tanques de 1 m3 de polietileno, seguindo para ETEF piloto, Figura 3, onde a água passou por um mecanismo de floculação, interno à tubulação (uma grade de barras dimensionada com gradiente de 500 rpm) conforme apresentado na figura 2.seguindo para floculador de bandejas, em PRFV, com gradiente de velocidade de 100 s-1, são três floculadores, cada um com uma bandeja por floculador (a vazão de entrada de 0,18 l/s por floculador), depois seguindo para o flotador. A taxa de aplicação superficial (TAS) utilizada foi de 273,6 m3 / m2. dia, e a taxa de recirculação de 40%. Os resíduos foram caraterizados nos parâmetros cor, turbidez e sólidos suspensos totais (SST). A torre de saturação com geometria em serpentina, figura 4, que permiti uma melhor homogeneização na câmara de saturação, nas torres de saturação cilíndricas (mais usuais) há um aumento gradativo na taxa de aglutinação de microbolhas de ar no interior da zona de contato do tanque de flotação, a aglutinação, é responsável pela diminuição do desempenho da FAD durante o processo de tratamento. No sistema de saturação com vasos cilíndricos, tem o meio suporte (recheio) até uma certa altura, já na serpentina o meio suporte (recheio) é ao longo de toda extensão e proporcionando maior agitação, pois sua seção transversal ao fluxo é menor para uma mesma faixa de vazão. Quanto maior a agitação menor a possibilidade de aglutinação e formação de bolsão de ar, prejudicial a saturação (HAN et al., 2015).

Figura 2 - Mecanismo de mistura rápida floculação



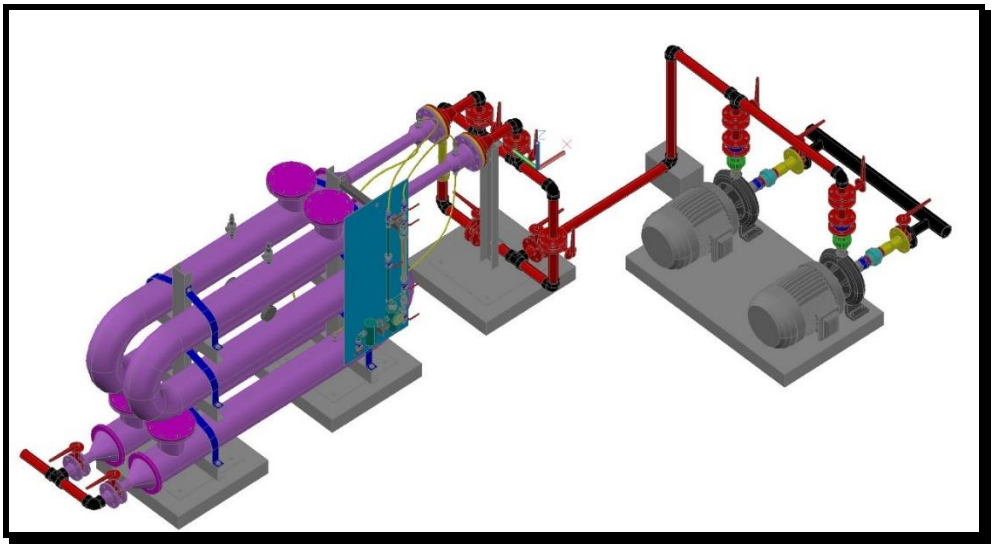
Fonte (O Autor, 2022)

Figura 3 - ETEF piloto 3D



Fonte (O Autor, 2022)

Figura 4 - Torre de saturação em serpentina

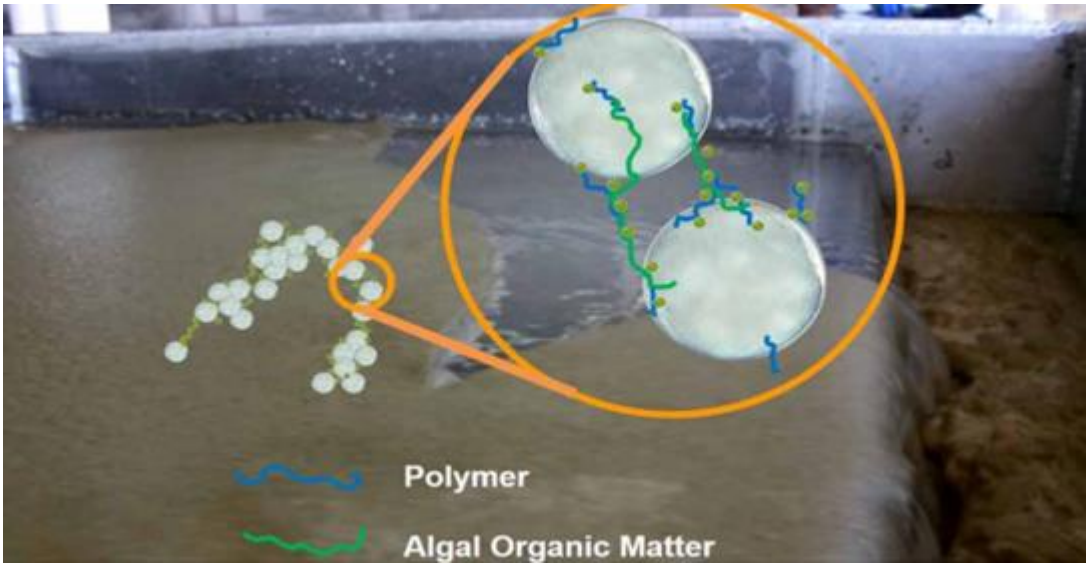


Fonte (O Autor, 2022)

Figura 5 – Etef piloto instalada na ETA Presidente Castelo Branco/PE

Fonte (O Autor, 2022)

Figura 6 - Superfície da microbolha carregada positivamente facilitando adesão dos resíduos



Fonte: (DUAN et al.; 2003)

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Nos testes realizados na ETEF FFAD foram aplicados nos ensaios três pressões 5 atm (5,06 x10² kPa), 5,5 (5,57 x10² kPa) e 6 (6,08 x10² kPa), Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaios na ETEF

ENSAIOS NA ETEF PILOTO												
ENSAIO	DOSAGEM DE POLÍMERO (mg pol/g SST)	PRESSÃO (ATM)	% RECIRCULAÇÃO	TURBIDEZ (unT)			COR (pT/l)			SST (mg/l)		
				Afluente	Efluente	% de remoção	Afluente	Efluente	% de remoção	Afluente	Efluente	% de remoção
1	0,5	5	40	930	62	93,33333333	211	102	51,65876777	720	120	83,33333333
		5,5		**930**	**47**	**94,94623656**	211	**64**	**69,66824645**	**720**	**85**	**88,19444444**
		6		930	52	94,40860215	211	84	60,18957346	720	97	86,52777778
2	1,0	5	40	**930**	50	94,62365591	211	83	60,66350711	**720**	110	84,72222222
		5,5		930	**43**	**95,37634409**	211	**55**	**73,93364929**	720	**75**	**89,58333333**
		6		**930**	45	95,16129032	211	77	63,507109	**720**	91	87,36111111
3	1,5	5	40	930	42	95,48387097	211	61	71,09004739	720	95	86,80555556
		5,5		**930**	**28**	**96,98924731**	211	**44**	**79,14691943**	**720**	**51**	**92,91666667**
		6		930	31	96,66666667	211	42	80,09478673	720	64	91,11111111
4	2,0	5	40	**930**	30	96,77419355	211	33	84,36018957	**720**	51	92,91666667
		5,5		930	**19**	**97,95698925**	211	**27**	**87,20379147**	720	18	97,5
		6		**930**	27	97,09677419	211	28	86,72985782	**720**	22	96,94444444
5	2,5	5	40	930	26	97,20430108	211	26	87,67772512	720	34	95,27777778
		5,5		**930**	**12**	**98,70967742**	211	**18**	**91,46919431**	**720**	14	98,05555556
		6		930	17	98,17204301	211	14	93,36492891	720	19	97,36111111
6	3,0	5	40	**930**	14	98,49462366	211	12	94,31279621	**720**	10,5	98,54166667
		5,5		930	**3,8**	**99,59139785**	211	**5**	**97,63033175**	720	**6,7**	**99,06944444**
		6		**930**	4,9	99,47311828	211	8	96,20853081	**720**	7,4	98,97222222

Fonte: (O Autor, 2022)

Podemos observar, que a interação entre a pressão de 5,57 10² kpa (5,5 atm), gradiente de 100 s-1, taxa de recirculação de 40% e a dosagem de 3 mg pol/g SST, tiveram a melhor interação conforme gráficos de efeitos apresentados nas figuras 7, 8 e 9 e que apresentam a interação dos parâmetros aplicados, foram aplicados na eta piloto as cinco dosagens de polímero. A cor do LETA encontrava-se com 930 Uc de cor, 211 Ut, 720 mg/l de SST (SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS).

Na Tabela 2 observa-se a relação A/S, os valores mencionados na literatura geralmente se encontram entre 0,005 e 0,06 (HIBELLER et al., 2017), mas esses valores referem-se a casos em que o efluente é uma água residuária, com elevado teor de sólidos suspensos, que é o caso do efluente estudado, na pesquisa em questão esses os valores estavam dentro do recomendado para as pressões de 5,06 e 5,57 10² kPa, tendo esses parâmetros tidos como oferecerem ótimas condições de remoção de sólidos.

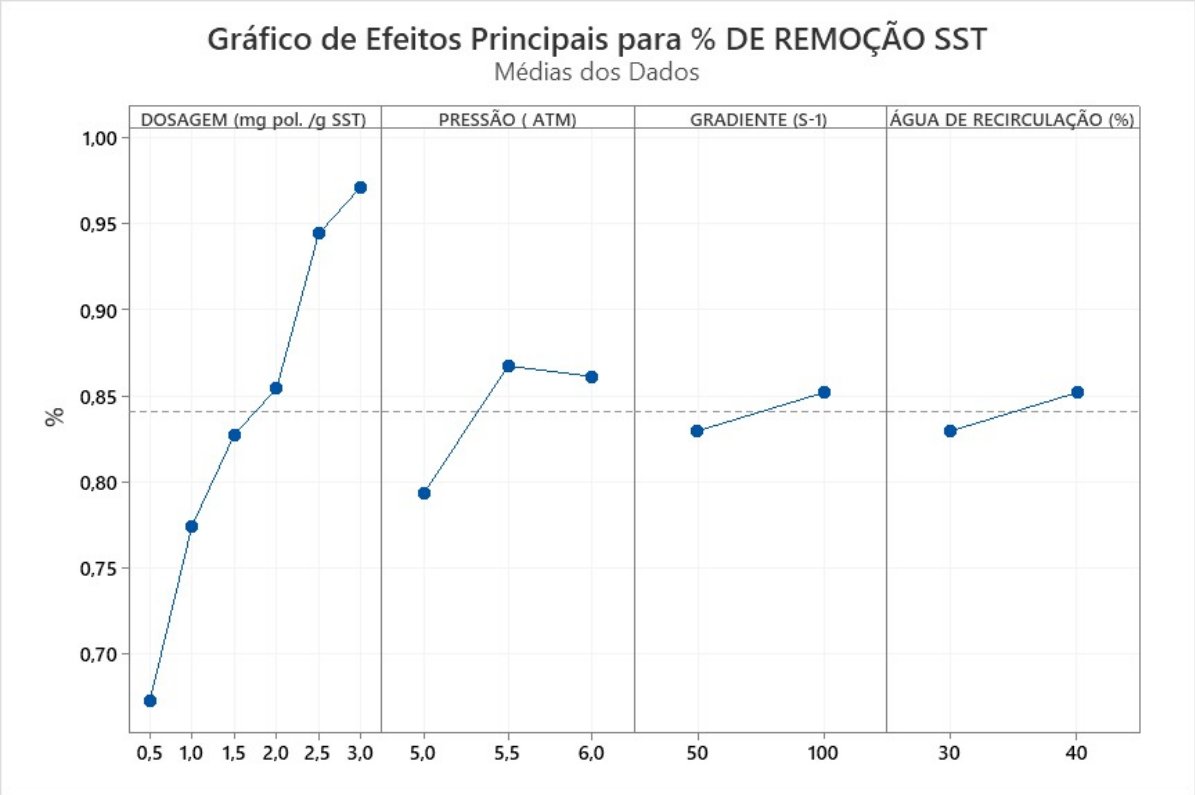
Tabela 2 - Relação A/S

RELAÇÃO (A/S)				
TAXA DE RECIRCULAÇÃO ADOTADA (%)	SST (mg/l)	PRESSÃO (10^2 kPa)	Vol.$_{ar}$/Vol.água (Henry) mL$_{ar}$/L	Relação (A/S)
40	**720**	**5,06**	**98,23011**	**0,054572283**
		5,57	**108,1313**	**0,060072944**
		6,08	**118,0325**	**0,065573611**

Fonte: (O Autor, 2022)

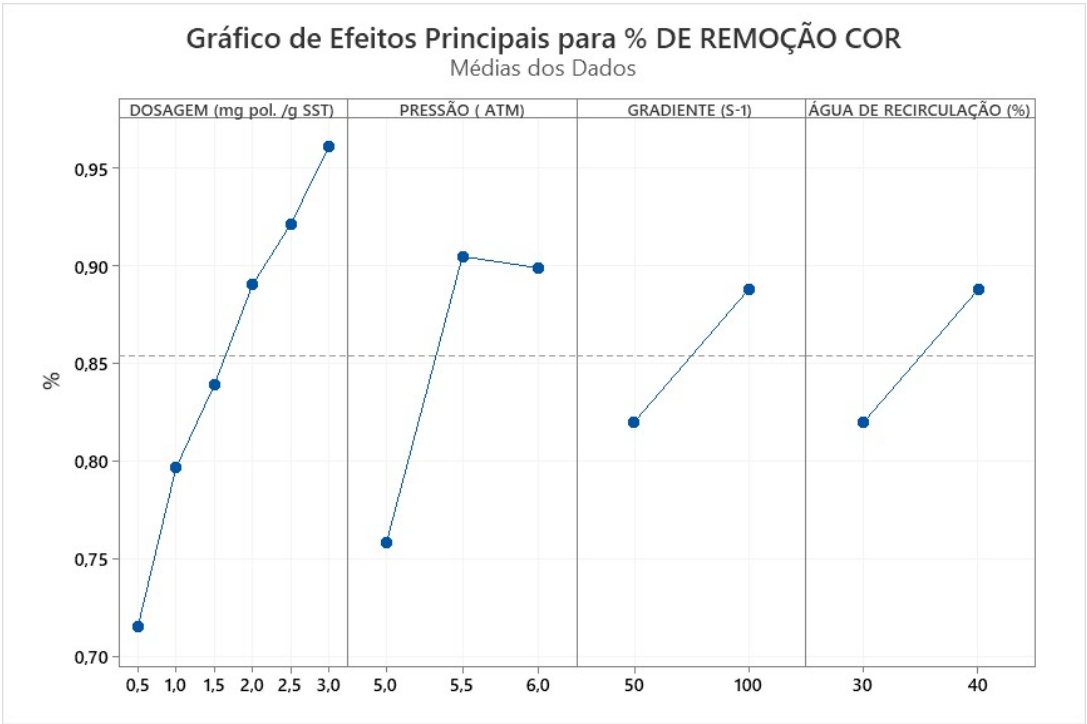
Na figura 7 podemos identificar que a melhor pressão para operação é a de 5,57 x 10² kpa, pressão acima geram bolhas menores, mas suscetíveis de cisalhamento comprometendo o tratamento. Os melhores resultados dos ensaios foram realizados testes de teor de sólidos adensados, para evidenciar a eficiência da unidade piloto, a melhor performance foi no ensaio 6, conforme Tabela 1, onde podemos observar que todos os resultados dos ensaios atendem ao teor de sólidos que é requerido para etapa de desaguamento para a grande maioria das tecnologias existentes no mercado.

Figura 7 - Gráfico de efeitos para remoção de SST



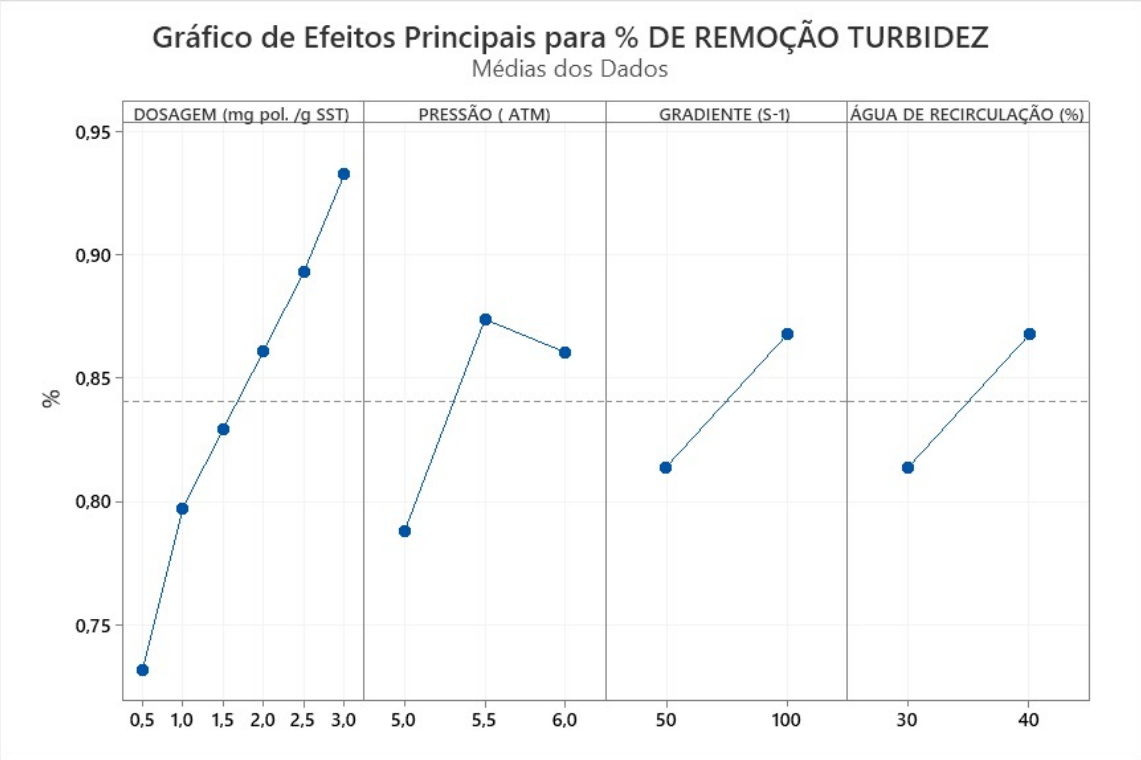
Fonte: (O Autor, 2022)

Figura 8 - Gráfico de efeitos para remoção de COR



Fonte: (O Autor, 2022)

Figura 9 - Gráfico de efeitos para remoção de TURBIDEZ



Fonte: (O Autor, 2022)

Fica claro com os ensaios demonstrado na Tabela 3 que o aumento de pressão não é uma garantia de boa performance, com a pressão de 6 atm houve uma pequena redução no teor de sólidos.

Tabela 3 - Teor de sólidos no lodo adensado

ENSAIOS REALIZADOS NA FLOCO-FLOTADOR PILOTO				
ENSAIO	DOSAGEM DE POLÍMERO (mg pol/g SST)	PRESSÃO (ATM)	% RECIRCULAÇÃO	TEOR DE SÓLIDOS NO LODO FLOTADO (%)
6	3,0	5	40	3,1
		5,5		**4,1**
		6		3,8

Fonte: (O Autor, 2022)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A associação das tecnologias teve excelente resultado no adensamento do lodo, a taxa de recirculação de 40%, com a pressão de operação de 5,57 x 10^2 kPa associada ao gradiente de 100s^{-1}, a melhor dosagem para no adensamento tiveram melhores performance com polímero utilizando 3 mg pol/g SST. O adensamento por FAD mostra-se eficaz para o aumento da concentração de sólidos e diminuição da turbidez da água clarificada, além de poder operar com maiores taxas de aplicação de sólidos, permitindo unidades mais compactas.

A FAD convencional é altamente dependente da coagulação-floculação eficaz, onde as partículas carregadas negativamente precisam ser modificadas pela adição de um coagulante carregado positivamente. (DUAN et al., 2003). O uso de polyDADMAC como um floculante obteve ótimo desempenho como resultado tanto da modificação da superfície da bolha, de modo que foram criados sítios positivos, aumentando a eficiência de adesão, pela ponte entre a bolha e a superfície do sólido.

O objetivo de combinar as propriedades do polímero (capacidade de ponte) e tensoativos (hidrofobicidade), com a funcionalidade dos grupos hidrofóbicos pendentes de vários comprimentos de cadeia de carbono foi melhorar a aderência da superfície de bolha do polímero. Ao aplicar essas microbolhas catiônicas se tem observado a viabilidade do processo (RITA et al., 2010). Qualquer que seja a concepção do sistema de adensamento, é fundamental que o resíduo seja pré-condicionado com polímero, cujas dosagens situam-se normalmente entre 0,5 a 6,0 gramas de polímero por quilo de sólidos secos g/kg (DI BERNARDO et al., 2011).

Outro ponto que podemos observar no ensaio é que não adianta colocar pressões muito altas, pois, foi observado durante os ensaios a formação de desuniformidade no tamanho das bolhas, o que reduziu a eficiência do tratamento.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Com base no estudo realizado, pode-se concluir que:

A associação de tecnologias pode tratar os resíduos gerados em ETA´s convencionais e atender as legislações pertinentes para lançamento no corpo receptor ou recirculação para própria unidade de tratamento.

O tratamento de resíduos de LETA de águas eutrofizadas são de difícil remoção, a combinação dos floculadores em bandejas seguido de flotação por ar dissolvido, com aplicação de modificadores de superfície (Polydadmac) se torna uma alternativa para a otimização do tratamento.

A FAD é uma tecnologia que além do tratamento dos parâmetros físico-químicos e uma excelente solução para remoção de cisto e oocisto de Giárdia e Crypstosporidium. Recomenda-se fazer mais ensaios para outras características de água, otimizando as taxas de aplicação superficiais, taxa de recirculação, gradientes e modificando os tipos de polímeros. Devido às diferenças significativas das características quantitativas e qualitativas dos resíduos de ETA, gerados por diferentes tecnologias de tratamento de água, a concepção dos sistemas de tratamento dos resíduos pode diferir consideravelmente.

Como o manancial encontra-se eutrofizado em algumas épocas do ano, é possível que ocorra a decomposição anaeróbica do material sólido (fitoplâncton) com formação de compostos orgânicos que se ligam as moléculas de água (água intersticial) aumentando a complexidade do adensamento/desague do lodo, por isso a importância de ensaios e o desenvolvimento de estudos por novas tecnologias, esse problema pode ser observado com o lodo de decantadores convencionais que são limpos a cada 3 ou 4 meses, resultando mais ainda a dificuldade da remoção da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. N. Autodepuração dos corpos d'água. Revista da Biologia. v.5. Vitória (ES), 2010.

American water works association – AWWA Water treatment plant residuais management. In:AWWA.Water quality & treatment – A handbook of community water supplis. 5aed. USA: American water works Association (1999).

American water works association – AWW: American society of Civil Engineers – ASCE Process residuiais.In: AWWA: ASCE.Water treatment plant design.USA: McGraw – Hill Handbooks (1998).

ANDREOLI, C. V.. Lodo de estações de tratamento de água: gestão e perspectivas tecnológicas. 1. ed. Sanepar, 2013.

AYOL, A.; DENTEL, S. K.; FILIBELI, A. Dual polymer conditioning of water treatment residuals. Journal Environmental Engineering, v. 2005.

DI BERNARDO, L. ; DANTAS, A. D. B. ; VOLTAN, P. E. N. . **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água**. 1. ed. São Carlos: Editora LDiBe, 2012.

DI BERNARDO, L. ; DANTAS, A. D. B. ; VOLTAN, P. E. N. . **Tratabilidade de Água e dos Resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água.** 1. ed. São Carlos: Editora LDiBe, 2011.

BITTENCOURT, S. et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2012, v. 17, n. 3

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente** (CONAMA). Resolução nº. 430/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357,de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, 2011.

CARNEIRO, M.C.M.; AMARAL, D.S.; SANTOS. L.F.M.; MARCO. JUNIOR, M.A.T.G.; PINHEIRO, M.T. **A gestão do saneamento no Brasil e sua relação com a gestão de recursos hídricos**. INOVAE, v. 6, 2018.

CORDEIRO, J. S.. **Precariedades e Desafios do Saneamento Ambiental. CRESCE BRASIL + ENGENHARIA `DESENVOLVIMENTO - CIDADES**, Brasília. 2016.

DUAN, J. M.; GREGORY, J. Coagulation by hydrolysing metal salts. Advances in Colloid and Interface Science, 2003.

FERREIRA, B. O.; VIANNA, M.R.. Eficiência Do Desaguamento De Lodos De Decantadores E Água De Lavagem De Filtros De Estação De Tratamento De Água Através De Filtros 135 Geotêxteis: Estudo De Caso. In: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia.

HIBELLER, R.C. **Fluid Mechanics**, First Edition, Malaysia: Pearson Prentice Hall,840 p. ISBN 10: 1-292-08935-0, 2017.