

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DO ADENSAMENTO POR GRAVIDADE DO LODO GERADO PELO TRATAMENTO DE ÁGUA

* Isadora Alves Lovo Ismail ¹
Luiz Di Bernardo ²
Angela Di Bernardo Dantas ²

EVALUATION OF GRAVITY THICKENING OF SLUDGE GENERATED BY WATER TREATMENT

Recibido el 22 de junio de 2021. Aceptado el 25 de enero de 2022

Abstract

Water used for human consumption must undergo treatment to become potable. One of the most used water treatment technologies in Brazil is the complete cycle, which includes the stages of coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection. In this type of treatment, there is the generation of residues in greater quantities in the sedimentation and filtration units, also called sludges or WWTP, which cause environmental impacts when improperly discharged into untreated springs. A widely used alternative for the treatment of waste generated in WTP is gravity thickening with the application of chemical conditioning, mainly polymers. In the present work, a water sample was prepared and submitted to treatability tests to obtain the sludge. From the generated sludge, "samples" were prepared with different concentrations of total suspended solids (TSS) and tested different chemical conditions (synthetic polymers and organic polymers) in gravity density tests. The results showed that synthetic polymers were more efficient than organic polymers, and that the higher the concentration of TSS in the initial sludge, the lower the values for turbidity and total solids of the clarified water, as well as higher speeds of clarification and thickening. Turbidity removal reached 95% for the 5.7 g TSS/L sludge in the gravity thickening tests.

Keywords: thickening, WTP residues, WTP sludge, polymers, water.

¹ Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias, Universidade de Ribeirão Preto, Brasil.

² Hidrosan Engenharia, São Carlos, Brasil.

* *Autor correspondente:* Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias, Universidade de Ribeirão Preto. Avenida Costábile Romano, 2201 – Ribeirânia, Ribeirão Preto – SP, 14096-900, Brasil. Email: eng.isadoralovo@gmail.com

Resumo

A água utilizada para consumo humano deve passar por tratamento para se tornar potável. Uma das tecnologias de tratamento de água mais utilizada no Brasil é a de ciclo completo, que contempla as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Nesse tipo de tratamento, há a geração de resíduos em maior quantidade nas unidades de decantação e filtração, também denominados de lodos ou RETAs, que causam impactos ambientais quando lançados indevidamente nos mananciais sem tratamento. Uma alternativa muito utilizada para tratamento dos resíduos gerados em ETA é o adensamento por gravidade com aplicação de condicionantes químicos, principalmente de polímeros. No presente trabalho foi preparada uma amostra de água e submetida a ensaios de tratabilidade para a obtenção do lodo. A partir do lodo gerado, foram preparados "lodos" com diferentes concentrações de sólidos suspensos totais (SST) e testados diferentes condicionantes químicos (polímeros sintéticos e polímeros orgânicos) em ensaios de adensamento por gravidade. Os resultados mostraram que os polímeros sintéticos foram mais eficientes que os polímeros orgânicos, e que quanto maior a concentração de SST no lodo inicial, menores os valores para turbidez e sólidos totais da água clarificada, assim como velocidades maiores de clarificação e adensamento. A remoção da turbidez chegou a 95% para o lodo de 5.7 g SST/L nos ensaios de adensamento por gravidade.

Palavras chave: adensamento, água, lodo de ETA, polímeros, resíduos de ETA.

Introdução

A tecnologia de tratamento utilizada em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) depende principalmente de fatores relacionados à qualidade da água bruta. Para cada tipo de tecnologia utilizada, há a geração de resíduos de ETA (RETAs), ou lodos de ETA, com características diferentes.

Atualmente, o maior problema ambiental enfrentado pelas ETAs está relacionado com os resíduos gerados pelo tratamento da água provenientes das descargas dos decantadores ou flotadores e da lavagem dos filtros. Esses resíduos possuem compostos químicos que são prejudiciais ao meio ambiente e, portanto, necessitam de tratamento para posterior disposição final.

Os RETAs, quando lançados nos cursos d'água sem o devido tratamento, contribuem para aumentar a concentração de metais e diminuir significativamente a luminosidade dos meios, além de serem tóxicos para diversos organismos aquáticos, os quais são de grande importância na alimentação dos peixes (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

A quantidade e a qualidade dos resíduos produzidos em uma ETA dependem de inúmeros fatores como a qualidade da água bruta, tecnologia de tratamento, mecanismos da coagulação, uso de auxiliar de coagulação, de oxidante, carvão ativado, método de limpeza dos decantadores (ou flotadores), método de lavagem dos filtros, habilidade dos operadores, automação de processos e operações na ETA e reuso da água recuperada no sistema de tratamento (Di Bernardo *et al.*, 2017).

Sendo assim, os RETAs devem passar por algum tipo de tratamento para posterior disposição adequada dos mesmos e, além disso, é proibido o lançamento de RETAs em cursos d'água. Diversas tecnologias de tratamento dos RETAs envolvendo adensamento e posterior desagumamento são utilizadas nos dias de hoje e cada uma delas possui suas características.

Até a presente pesquisa, não haviam sido feitos estudos que relacionassem todos os itens anteriores, com diferentes tipos de polímeros. Sendo assim, há a necessidade de um trabalho que verifique a influência da concentração de sólidos suspensos totais (SST) no lodo, de quais formas ele pode ser tratado, condicionantes químicos a serem utilizados (sintéticos ou orgânicos) e variação da dosagem empregada em etapas de adensamento desses resíduos.

Para isso, a pesquisa verificou a influência da concentração de sólidos e diferentes tipos e dosagens de condicionantes químicos em tecnologias utilizadas para o tratamento dos RETAs, neste caso, o adensamento por gravidade.

Metodologia

As etapas relacionadas à metodologia do trabalho estão apresentadas resumidamente no fluxograma da Figura 1 e, posteriormente, a justificativa dos parâmetros utilizados.

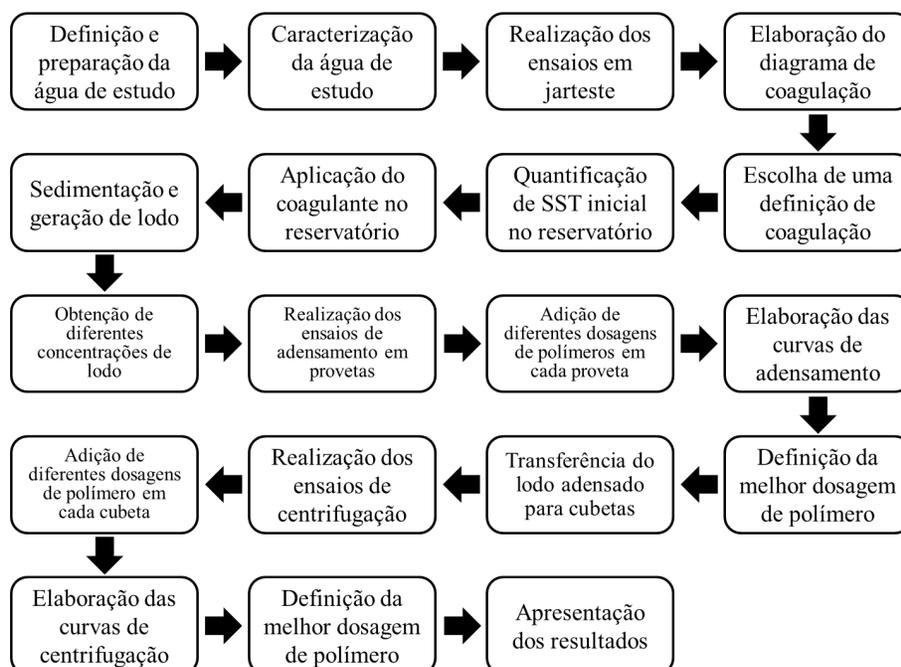


Figura 1. Metodologia do trabalho realizado.

Água de Estudo

Primeiramente, definiu-se que a água de estudo a ser utilizada no presente trabalho seria preparada a partir da mistura da água do poço da instituição de pesquisa (desclorada com adição de tiosulfato de sódio) com o sedimento coletado no fundo do rio Parto (região de Ribeirão Preto - SP, Brasil) para conferir turbidez em torno de 1000 uT.

As amostras de água foram preparadas de acordo com o estabelecido e foi realizada a caracterização físico-química da água obtida. As etapas para preparação da água bruta foram:

- Coletou-se uma certa quantidade de sedimento do rio Pardo; o mesmo foi disposto em uma caixa para secagem e peneirado. Com o sedimento seco, foi preparada uma suspensão para hidratação do material e posterior diluição e preparação de uma água bruta com turbidez de 1000 uT.
- Para preparação da suspensão, foi utilizada uma caixa d'água com capacidade de 200 L com 30 kg de sedimento seco e completou-se com água até 150 L, obtendo-se uma suspensão com 200 g/L. A suspensão permaneceu em repouso para hidratação do sedimento por 96 horas (conforme ensaios preliminares realizados em bancada). Depois de 96 horas, a suspensão foi agitada e depois permaneceu em repouso por, aproximadamente, 15 minutos para sedimentação do material grosseiro.
- Em seguida, aproximadamente 137 L da suspensão (sobrenadante) foram transferidos para um reservatório com capacidade de 1500 L e adicionou-se água do poço da instituição de pesquisa (sem cloro) à caixa d'água até que sua turbidez atingisse 1000 uT, sendo monitorada através de um turbidímetro.

Definição dos parâmetros utilizados

Após definição das condições de preparação da água de estudo, foram definidos outros parâmetros, conforme descrito posteriormente, juntamente com as justificativas de escolhas:

- Coagulante Cloreto de Polialumínio (PAC): é um coagulante sintético comumente utilizado em ETAs, muito eficiente.
- Concentrações de lodo a serem trabalhadas:
 - 0.5 g SST/L: lodo mais diluído, proveniente da mistura da água de lavagem dos filtros e limpeza dos decantadores (valor usualmente obtido nas ETAs). Devido a fatores inerentes ao método de medição de sólidos suspensos totais, foi obtido um lodo com 0.63 g SST/L.
 - 5.0 g SST/L: lodo um pouco mais concentrado, proveniente da água de limpeza dos decantadores (valor usualmente obtido nas ETAs). Devido a fatores inerentes ao método de medição de sólidos suspensos totais, foi obtido um lodo com 5.7 g SST/L.
 - Floculantes sintéticos catiônico, aniônico e não iônico: são os mais utilizados em ETAs
 - Floculantes orgânicos Tanfloc SL e Tanfloc SG (fornecidos pela empresa TANAC): estão sendo muito utilizados nas ETAs atualmente devido ao apelo ambiental por não apresentarem, em sua composição, compostos nocivos à saúde e serem não prejudiciais ao meio ambiente.

Ensaio realizado

Foram feitas séries de ensaios de bancada com a água de estudo, conforme descrição a seguir.

Definição das Condições de Coagulação

Foram feitos ensaios de coagulação com Cloreto de Polialumínio, floculação e sedimentação em equipamento de jarteste visando à construção do diagrama de coagulação de pH em função da dosagem e da turbidez. Para variar o pH de coagulação foi usado hidróxido de sódio (10 g/L).

As condições dos ensaios foram:

- Mistura rápida: gradiente de velocidade médio de 1000 s^{-1} e tempo de mistura de 10 s;
- Floculação: gradiente de velocidade médio de 30 s^{-1} e tempo de floculação de 20 min;
- Sedimentação: velocidades de sedimentação de $V_{s1} = 3.0\text{ cm/min}$; $V_{s2} = 1.5\text{ cm/min}$;

Parâmetros resultantes:

- Água coagulada: pH
- Água decantada: turbidez e cor aparente.

Ao fim dos ensaios, definiu-se um ponto de dosagem ideal de coagulação. Essa dosagem de coagulante foi realizada na caixa d'água de 1500 L, a qual permaneceu sob agitação lenta (manual) por, aproximadamente, 20 minutos. A água permaneceu em repouso por 3 horas para sedimentação dos sólidos suspensos.

Depois de três horas, o sobrenadante da caixa foi coletado e uma determinada quantidade foi armazenada para diluição do lodo, caso fosse necessário. O lodo permaneceu no fundo da caixa e o mesmo foi transferido para outro recipiente.

Adensamento por Gravidade

A Figura 2 apresenta o fluxograma para a realização dos ensaios de adensamento por gravidade do lodo.

Os ensaios de adensamento por gravidade foram conduzidos em uma coluna de sedimentação (proveta) devidamente graduada, com diâmetro igual a 3.5 cm e altura igual a 23.0 cm.

As soluções de polímeros utilizadas no condicionamento do lodo foram preparadas adicionando-se 1.0 g de produto concentrado em 1.0 litro de água, obtendo-se uma concentração de 1.0 g/L e agitando-se por 30 minutos até "abrir a cadeia".

As dosagens de polímero utilizadas foram 0.4; 0.8; 2.0 e 4.0 mg pol./g SST para o lodo com concentração de 0.63 g SST/L e 0.4; 0.9; 2.2 e 4.4 mg pol./g SST para o lodo com concentração de 5.7 g SST/L pois são dosagens comumente utilizadas em ETAs.

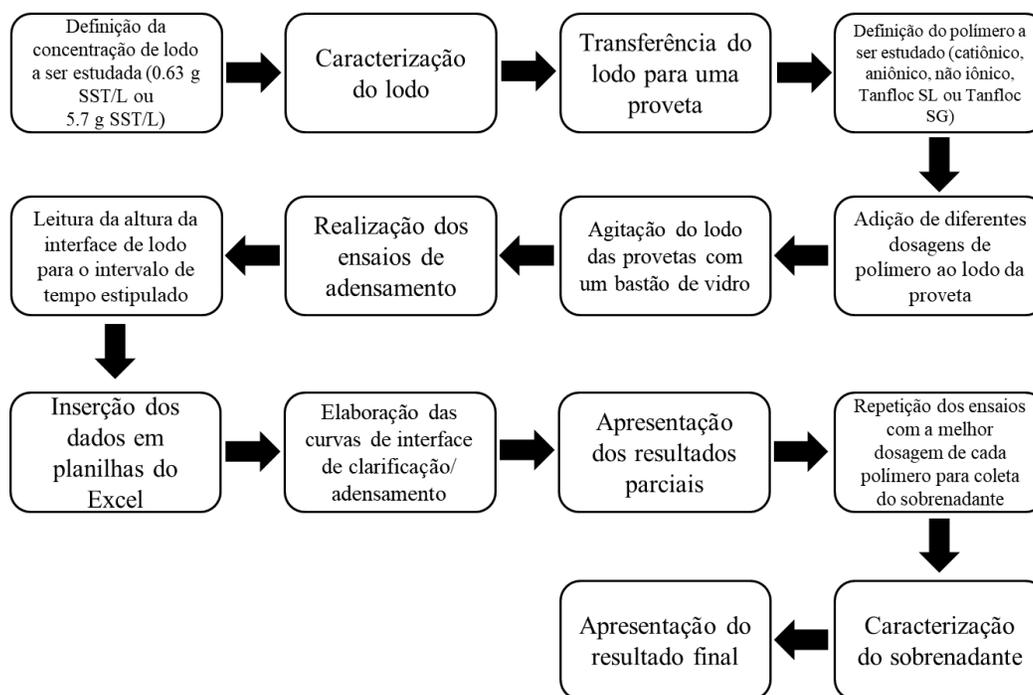


Figura 2. Fluxograma dos ensaios de adensamento por gravidade.

O lodo foi condicionado na coluna de adensamento com o auxílio de um agitador manual, onde foi agitado e depois permaneceu em repouso para ocorrer a clarificação e o adensamento por 1 h. Ressalta-se que não foram analisados dados de taxa superficial e de aplicação de sólidos para dimensionamento de adensadores por gravidade.

Estipularam-se intervalos de tempo (de acordo com o método proposto por Talmage *et al.* (1955), de modo que fosse possível aplicá-lo) para medir a altura da interface de clarificado e, após o tempo pré-estabelecido, inseriram-se os dados em planilhas do Excel para elaboração de diferentes curvas de sedimentação.

Os parâmetros escolhidos para a avaliação do efeito das diferentes dosagens de polímero pré-estabelecidas foram:

- concentração de lodo adensado de 30.0 g SST/L;
- maior velocidade de clarificação e de adensamento;
- menor turbidez do líquido clarificado.

Obtendo-se a melhor dosagem de cada polímero, realizaram-se novamente os ensaios para caracterização do líquido clarificado obtido.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos para o adensamento do lodo por gravidade estão apresentados a seguir.

Caracterização da Água de Estudo

A Tabela 1 apresenta todos os parâmetros avaliados na água de estudo que foi utilizada para a realização do ensaio de tratabilidade empregando o coagulante PAC com a finalidade de obter o lodo para os ensaios de adensamento.

A análise dos sólidos totais requer cuidado e atenção elevados para sua caracterização, isso porque pode ser considerada uma análise qualitativa, uma vez que qualquer modificação no simples ato, por exemplo, de se misturar a água para coleta, pode alterar seu resultado.

Tabela 1. Características da água de estudo utilizada para geração do lodo de 5.7 g SST/L.

Parâmetro	Unidade	Valor
pH	-	6.74
Cor Aparente	uH	3353
Cor Verdadeira	uH	62
Turbidez	uT	998
Condutividade Elétrica	$\mu\text{s/cm}$	62
Alcalinidade	mg/L CaCO_3	10.5
Carbono Orgânico Total	mg/L C	15.1
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	1.06
Manganês Dissolvido	mg/L Mn	<0.01
Alumínio	mg/L Al	0.01
Sólidos Totais	mg/L	981

**Para geração do lodo bruto de 0.63 g SST/L, diluiu-se o lodo de 5.7 g SST/L.*

Após a preparação e caracterização da água de estudo, foram realizados ensaios em jarteste para definir a dosagem de coagulante a ser utilizada na água de estudo condicionada na caixa d'água para obtenção do lodo.

A Figura 3 mostra os equipamentos durante a realização dos ensaios em jarteste. Após realização dos ensaios em jarteste, elaborou-se o diagrama de coagulação, apresentado na Figura 4, para definição da dosagem a ser utilizada na água de estudo condicionada na caixa d'água para geração do lodo.

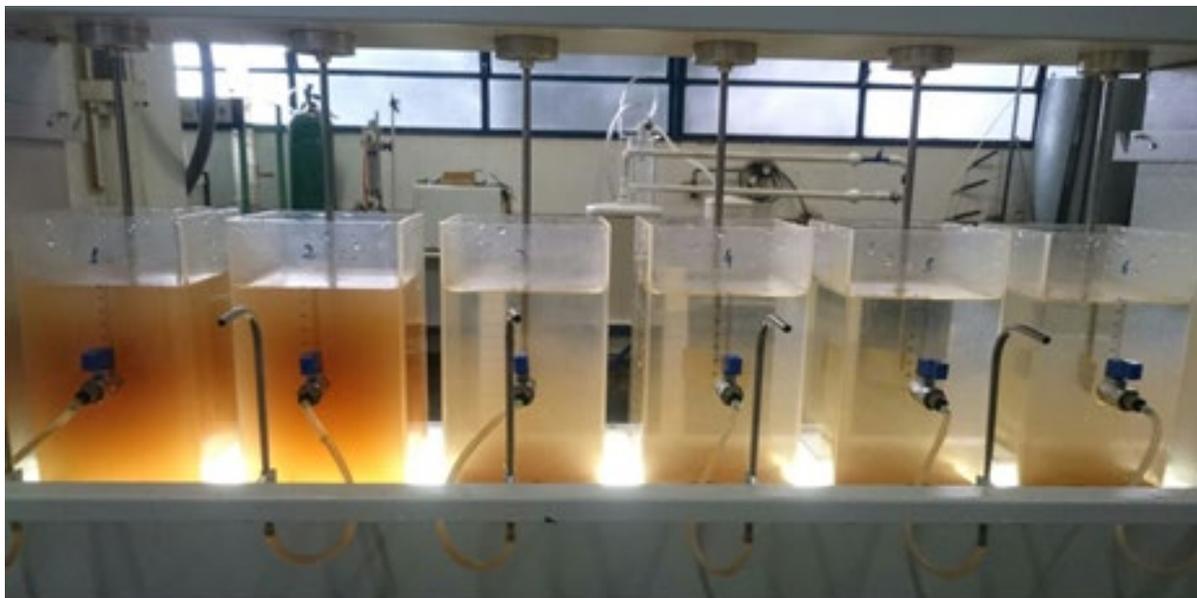


Figura 3. Ensaio em jarreste no início da sedimentação.

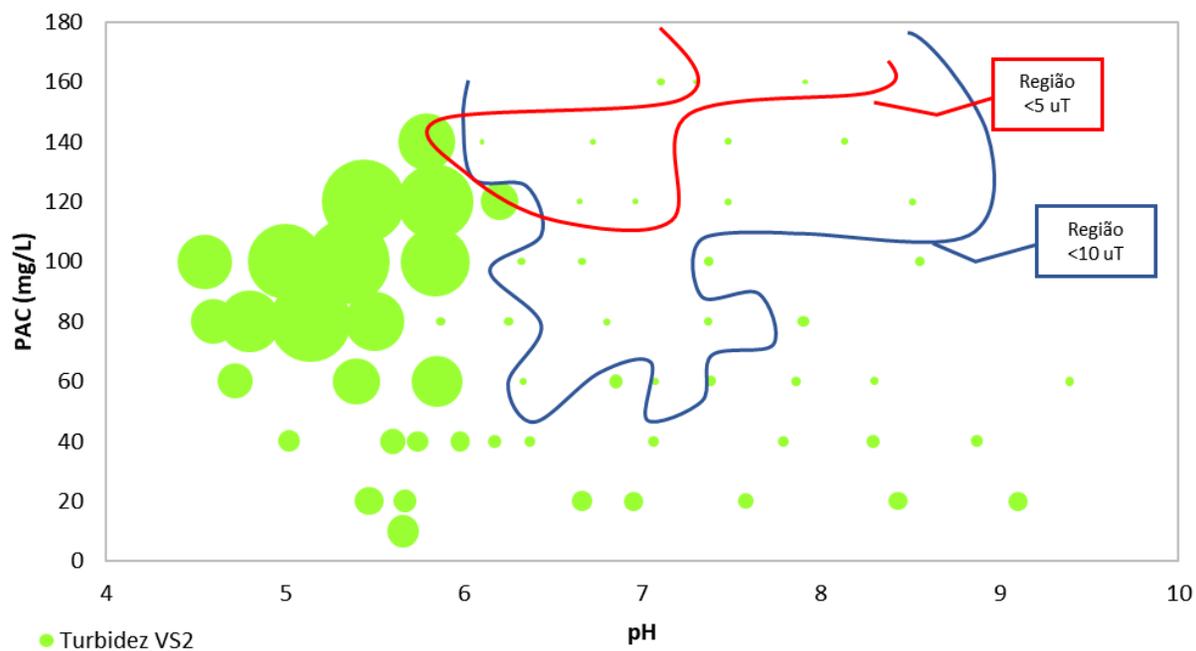


Figura 4. Turbidez remanescente em função da dosagem de PAC e pH de coagulação para a velocidade de sedimentação $V_{s2} = 1.5$ cm/min.

Conforme pode ser visto na Figura 4, os melhores resultados foram obtidos com pH de coagulação em torno de 7.0 e dosagem de PAC entre 80 e 160 mg/L.

Os ensaios foram repetidos para as dosagens de 80, 120 e 160 mg/L de PAC com a inclusão do ensaios de filtração lenta em areia (FLA) (taxa de filtração: 60 m³/m².dia).

Analisando-se criteriosamente e levando-se em consideração a quantidade de coagulante a ser utilizada, uma vez que o PAC é composto por alumínio, concluiu-se que a dosagem para realização dos experimentos seria de 120 mg/L em pH de coagulação 7.0, condição para a qual resultou turbidez em torno de 4.3 uT para a velocidade de sedimentação $V_{s2} = 1.5$ cm/min e água filtrada com cor aparente em torno de 2.0 uH e turbidez menor que 0.5 uT.

Geração e caracterização do lodo de estudo

As condições de coagulação (dosagem de PAC de 120 mg/L e pH de coagulação em torno de 7.0) foram aplicadas na água de estudo condicionada na caixa d'água de 1500 L para coagulação e geração do lodo, o qual foi caracterizado segundo os parâmetros apresentados na Tabela 2.

O planejamento do trabalho foi feito no sentido de serem obtidos lodos de estudo com concentrações de 0.5 e 5.0 g SST/L. Devido a fatores inerentes ao método de medição de sólidos suspensos totais, resultaram concentrações de 0.63 e 5.7 g SST/L, respectivamente.

Tabela 2. Características físico-químicas do lodo de estudo.

Parâmetro	Unidade	Lodo 0.5	Lodo 5.0
pH	-	6.17	6.70
Cor Aparente	uH	5050	24133
Cor Verdadeira	uH	3	5
Turbidez	uT	600	9200
Condutividade Elétrica	µs/cm	55.7	154.0
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	26.0	36.3
Carbono Orgânico Total	mg C/L	11.12	104.3
Ferro Total	mg Fe/L	0.58	417
Manganês Total	mg Mn/L	<0.01	5.5
Alumínio	mg Al/L	16	140
Ferro Dissolvido	mg Fe/L	<0.01	<0.01
Manganês Dissolvido	mg Mn/L	<0.01	<0.01
Sólidos Totais	mg/L	772	5857
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	147	131
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	625	5727

Adensamento do lodo por gravidade

Os ensaios de adensamento por gravidade foram realizados de acordo com o descrito na metodologia, em provetas devidamente graduadas. A Figura 5 mostra fotos de ensaios de adensamento por gravidade com diferentes concentrações de lodo e dosagens de polímeros.

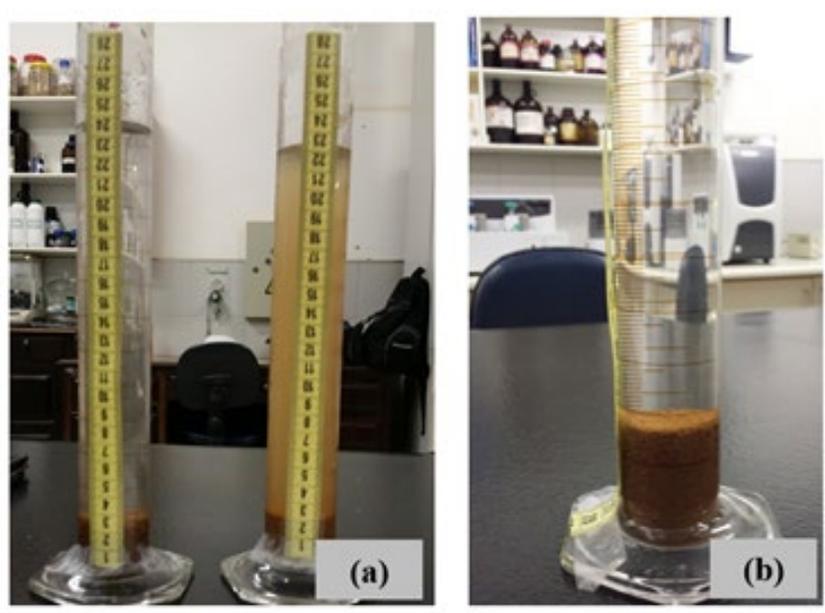


Figura 5. Ensaios de adensamento por gravidade com diferentes concentrações de lodo e dosagens de polímeros.

Pode ser observado na Figura 5 (a) que o sobrenadante está mais clarificado na proveta da esquerda, onde foi utilizada uma solução de polímero sintético. Na Figura 5 (b) também foi adicionada solução de polímero sintético. Nota-se uma nítida diferença no líquido clarificado quando há a comparação entre os dois tipos de polímeros (sintéticos e orgânicos), que, neste caso, os sintéticos foram mais eficientes.

Lodo de estudo 0.5 (0.63 g SST/L)

Os ensaios de adensamento por gravidade em provetas com lodo de 0.63 g SST/L podem ser vistos na Figura 6. Conforme pode ser observado, o lodo de 0.63 g SST/L é bem diluído e, neste caso, até sua turbidez é menor do que a água que entra na ETA simulada para este trabalho (Tabela 1).

Os resultados obtidos para os ensaios de adensamento por gravidade para concentração de lodo de 0.63 g SST/L com os polímeros catiônico, aniônico e não iônico estão apresentados nas Figuras 7, 8 e 9.

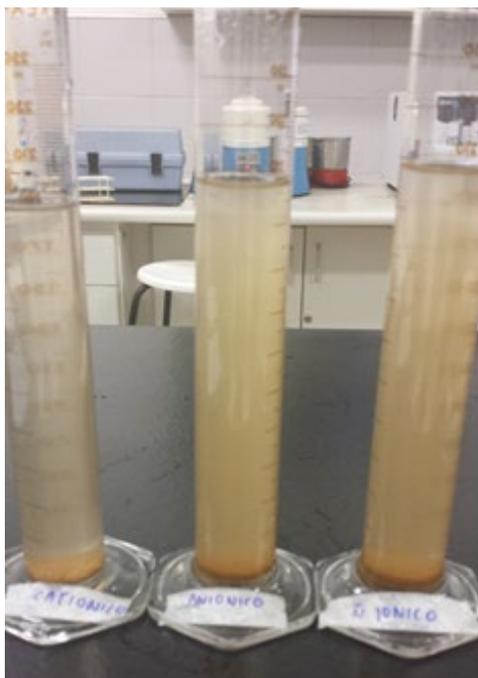


Figura 6. Fotos dos ensaios de adensamento por gravidade em provetas com lodo de 0.63 g SST/L com adição de diferentes polímeros.

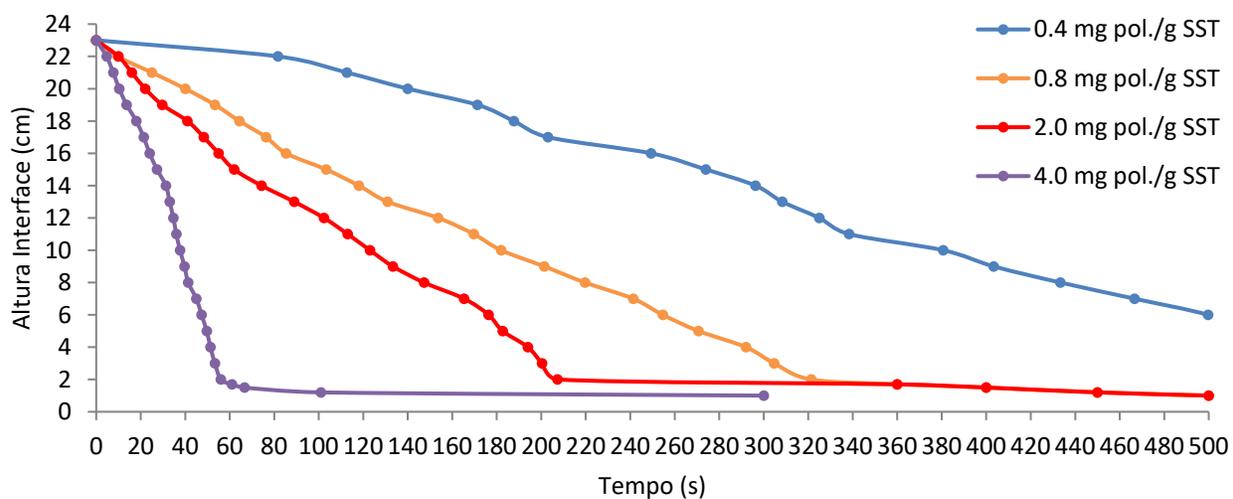


Figura 7. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 0.63 g SST/L com uso do polímero catiônico.

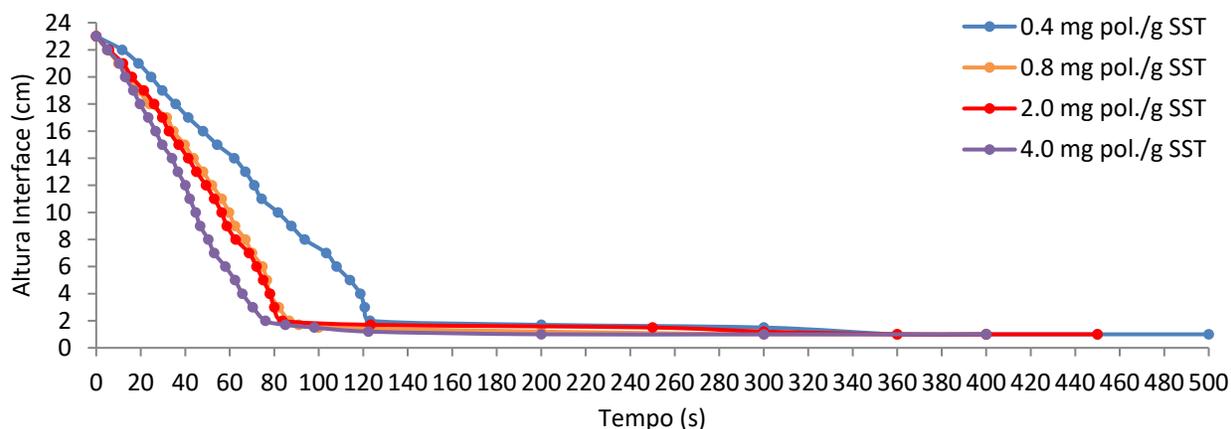


Figura 8. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 0.63 g SST/L com uso do polímero aniônico.

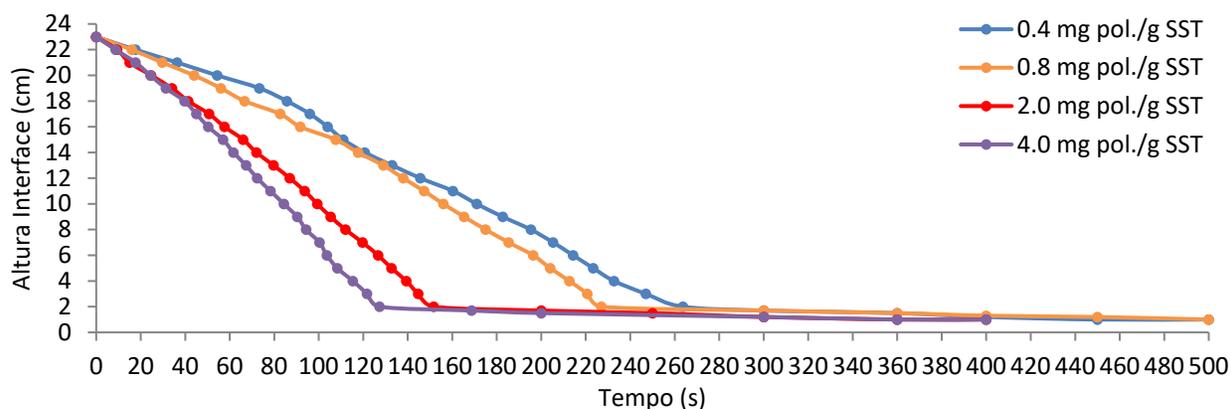


Figura 9. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 0.63 g SST/L com uso do polímero não iônico.

Para o lodo de 0.63 g SST/L, os polímeros orgânicos não apresentaram resultados satisfatórios e, portanto, não foram considerados. Na Figura 10 pode ser visto um ensaio de adensamento por gravidade em provetas com polímeros orgânicos. Nota-se que não houve a clarificação e o adensamento das partículas, para este caso específico com as dosagens utilizadas. Uma hipótese poderia ser que os polímeros orgânicos são mais eficientes em concentrações de sólidos suspensos totais mais elevadas.

Com as melhores dosagens obtidas para cada condicionante químico foi construído o gráfico da Figura 11 para comparação e em seguida realizou-se a caracterização do sobrenadante para as respectivas dosagens, de acordo com o tempo final de adensamento de cada curva de interface de clarificação/adensamento.

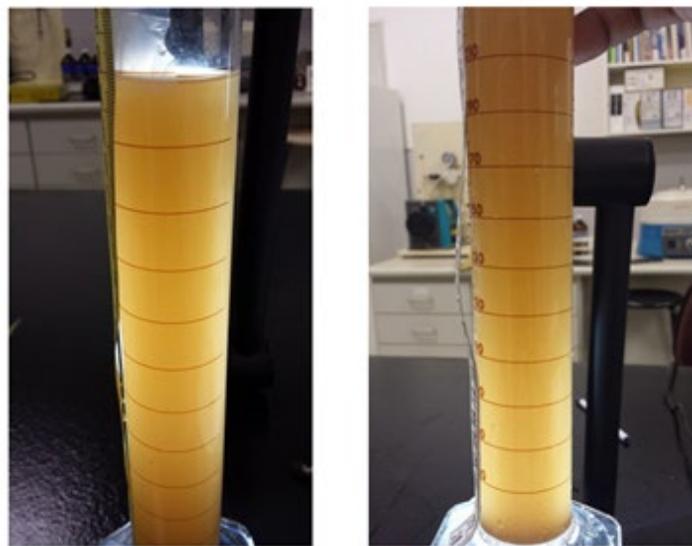


Figura 10. Fotos de ensaios de adensamento por gravidade em proveta com lodo de 0.63 g SST/L com Tanfloc SL e SG, respectivamente.

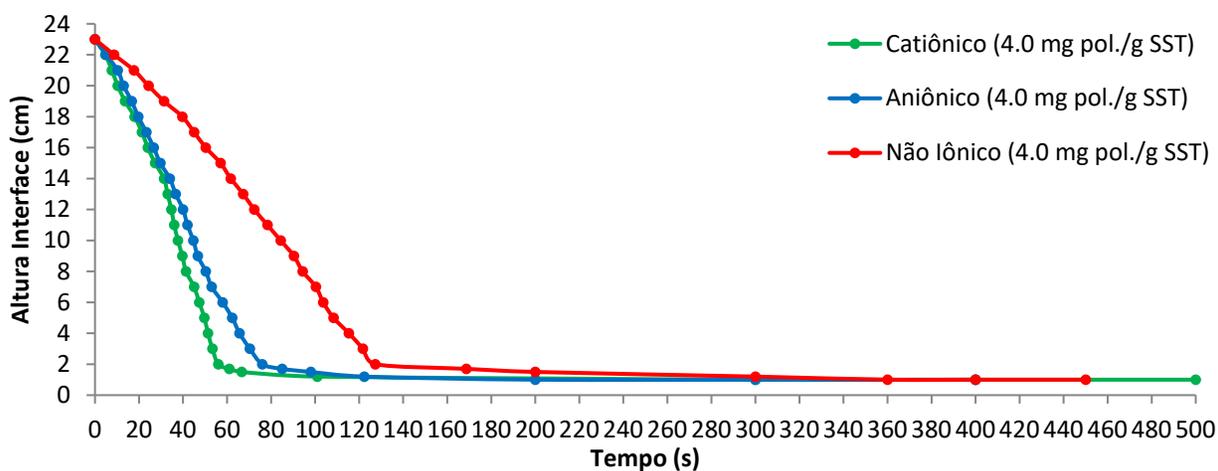


Figura 11. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 0.63 g SST/L para as melhores dosagens de polímeros.

Com base na Figura 11, nota-se que a melhor dosagem de todos os polímeros foi de 4.0 mg pol./g SST. No entanto, fica evidente que o polímero catiônico se destacou em relação aos demais, ocasionando maior sedimentação do material em menos tempo.

A Tabela 3 apresenta a algumas características do sobrenadante do lodo adensado com concentração inicial de 0.63 g SST/L.

Tabela 3. Características do sobrenadante do lodo adensado com concentração inicial de 0.63 g SST/L.

Parâmetro	Unidade	Catiônico	Aniônico	Não Iônico	Tanfloc SL	Tanfloc SG
Turbidez	uT	152.0	643.0	268.0	-	-
Ferro Total	mg Fe/L	0.09	0.12	0.13	-	-
Manganês Total	mg Mn/L	<0.01	<0.01	<0.01	-	-
Alumínio Total	mg Al/L	0.13	0.05	0.10	-	-
Carbono Orgânico Total	mg C/L	5.7	11.6	5.8	-	-
Sólidos Totais	mg/L	158.0	334.0	210.0	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	66.7	161.3	65.3	-	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	91.3	172.7	144.7	-	-

De acordo com a Tabela 3, fica evidente que o polímero catiônico se sobressaiu em relação aos demais. Por exemplo, a turbidez do sobrenadante do catiônico resultou 152 uT, enquanto o aniônico e o não iônico resultaram 643 e 268 uT, respectivamente. No entanto, com as dosagens utilizadas no presente trabalho não foi possível obter um líquido clarificado com turbidez menor que 100 uT.

Outro ponto que merece destaque é a quantidade de sólidos presentes no sobrenadante do catiônico em relação aos demais, resultando um valor bem menor.

Sendo assim, a clarificação nos ensaios de adensamento com o lodo com concentração de 0.63 g SST/L só foi possível com o uso de polímeros sintéticos, destacando-se o polímero catiônico, o qual resultou um clarificado com turbidez até quatro vezes menor que os outros, assim como sólidos totais na ordem de duas vezes menores.

O objetivo dos ensaios de adensamento foi gerar um lodo com concentração final de 30.0 g SST/L pois é um valor adequado para a próxima etapa de tratamento (desaguamento por centrifugação). Para isso, utilizando-se as melhores dosagens de cada polímero e o método proposto por Talmage *et al.* (1955) e já utilizado por Di Bernardo *et al.* (2017), Patrizzi (1999) e Scalize (1997), foram elaborados os gráficos das Figuras 12, 13 e 14. Os parâmetros obtidos para que o lodo com concentração inicial de 0.63 g SST/L fosse adensado até 30.0 g SST/L estão apresentados na Tabela 4.

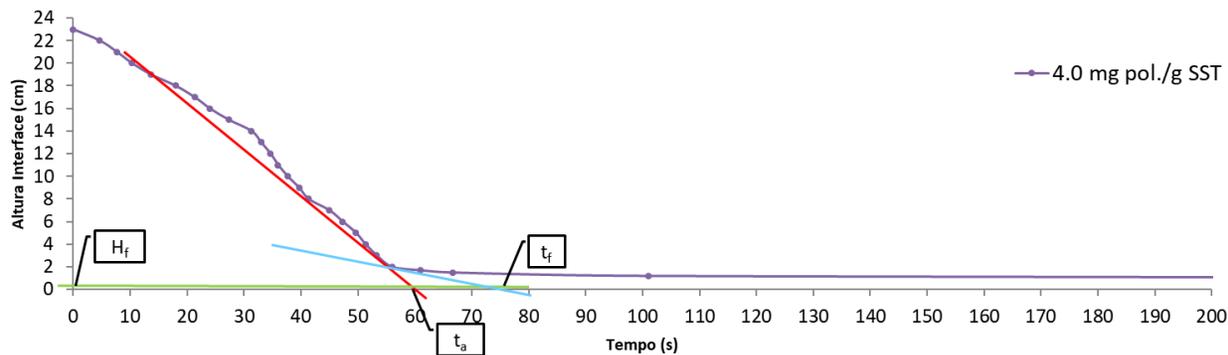


Figura 12. Método gráfico para determinação dos parâmetros de clarificação e adensamento do lodo de 0.63 g SST/L com dosagem de 4.0 mg pol./g SST de polímero catiónico.

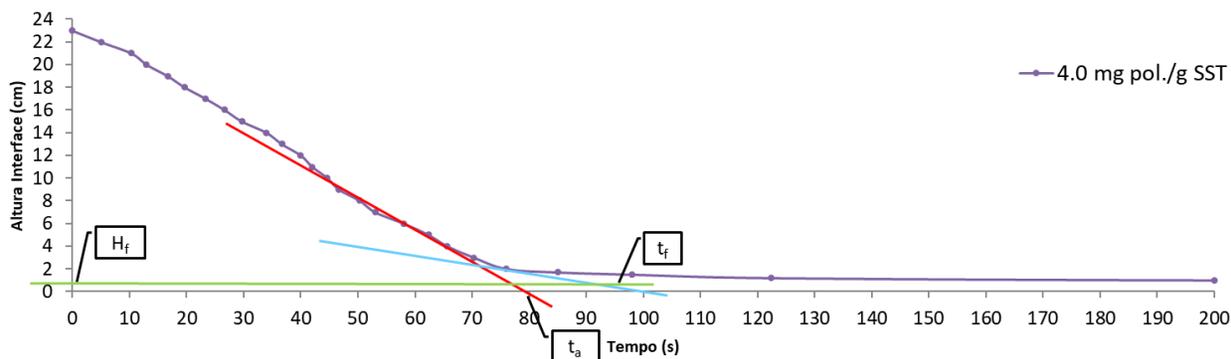


Figura 13. Método gráfico para determinação dos parâmetros de clarificação e adensamento do lodo de 0.63 g SST/L com dosagem de 4.0 mg pol./g SST de polímero aniônico.

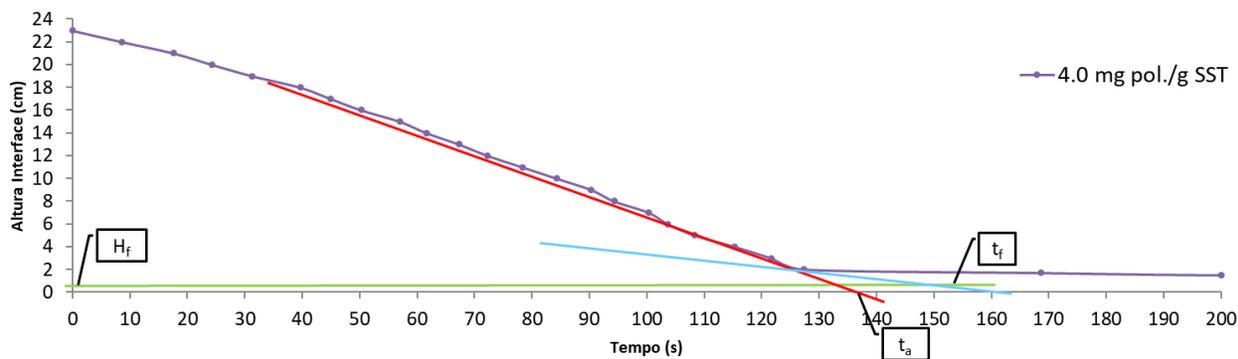


Figura 14. Método gráfico para determinação dos parâmetros de clarificação e adensamento do lodo de 0.63 g SST/L com dosagem de 4.0 mg pol./g SST de polímero não iônico.

Tabela 4. Parâmetros obtidos no adensamento por gravidade para lodo com concentração inicial de 0.63 g SST/L e final de 30.0 g SST/L.

Parâmetro	Unidade	Catiônico	Aniônico	Não Iônico	Tanfloc SL	Tanfloc SG
Tempo Final de Adensamento	s	77	98	155	-	-
Concentração Final do Lodo	g SST/L	30.0	30.0	30.0	-	-
Velocidade Teórica de Clarificação	cm/min	23.0	17.3	10.0	-	-
Velocidade Teórica de Adensamento	cm/min	17.6	13.8	8.8	-	-

Já pela Tabela 4, nota-se a diferença do tempo final de adensamento entre os polímeros. Dentre os polímeros sintéticos (catiônico, aniônico e não iônico), o catiônico foi o polímero que ocasionou as maiores velocidades de clarificação e adensamento, confirmando os resultados obtidos na Tabela 3 de caracterização do sobrenadante.

Sendo assim, é evidente que o polímero sintético catiônico se destacou em relação aos demais e deve ser utilizado para este projeto, nessa concentração de lodo.

Lodo de estudo 5.0 (5.7 g SST/L)

Os ensaios de adensamento por gravidade em provetas com lodo de 5.7 g SST/L podem ser vistos na Figura 15. Conforme pode ser observado, o lodo de 5.7 g SST/L também é bastante diluído e sua turbidez é menor do que a água que entra na ETA simulada para este trabalho (Tabela 1).

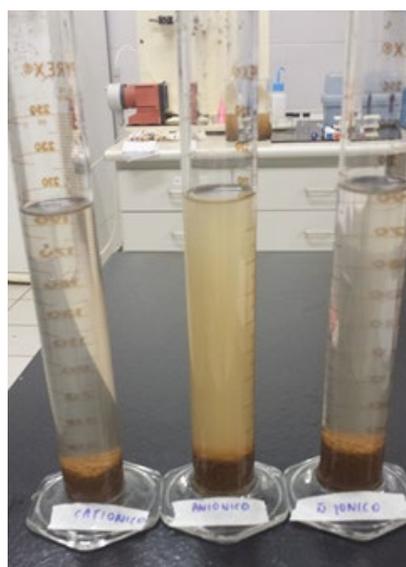


Figura 15. Fotos de ensaios de adensamento por gravidade em provetas com lodo de 5.7 g SST/L com adição de diferentes polímeros.

Os resultados obtidos para os ensaios de adensamento por gravidade para concentração de lodo de 5.7 g SST/L com os polímeros catiônico, aniônico e não iônico estão apresentados nas Figuras 16, 17 e 18, respectivamente.

Os resultados obtidos para os ensaios de adensamento por gravidade para concentração de lodo de 5.7 g SST/L com os polímeros Tanfloc SL e Tanfloc SG estão apresentados nas Figuras 19 e 20, respectivamente.

Com as melhores dosagens obtidas para cada condicionante químico foi construído o gráfico da Figura 21 para comparação e em seguida realizou-se a caracterização do sobrenadante para as respectivas dosagens, de acordo com o tempo final de adensamento de cada curva de interface de clarificação/adensamento.

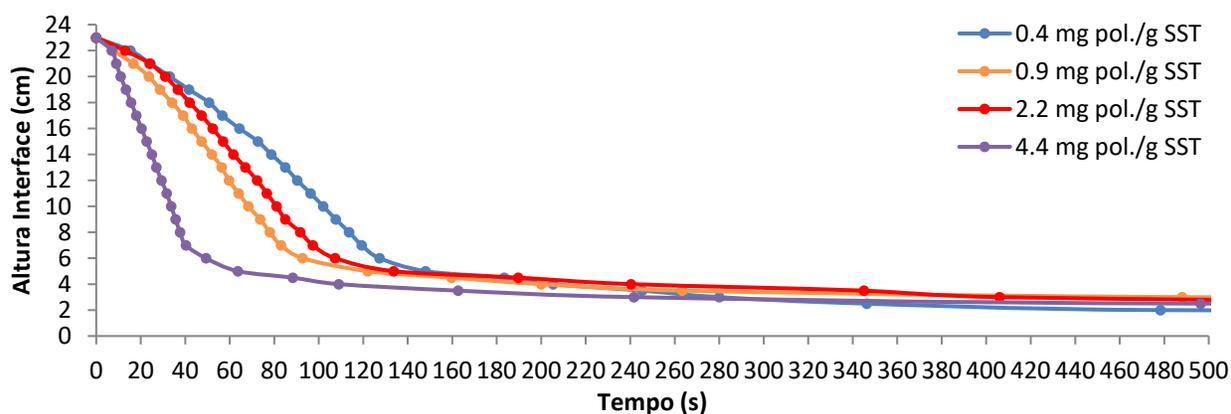


Figura 16. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com uso do polímero catiônico.

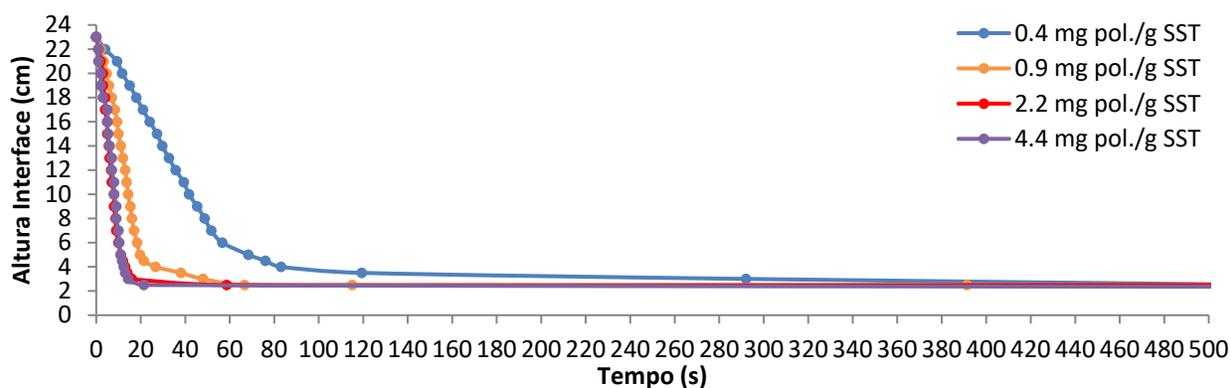


Figura 17. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com uso do polímero aniônico.

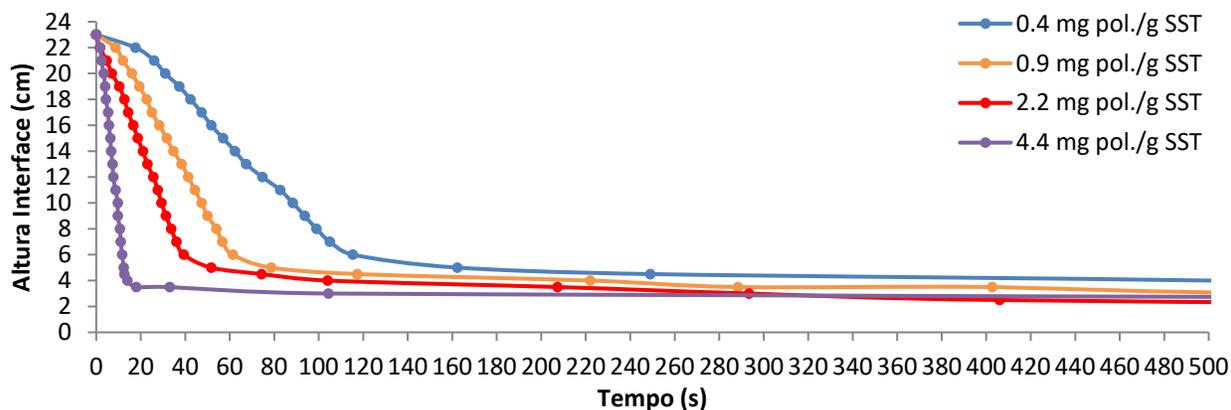


Figura 18. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com uso do polímero não iônico.

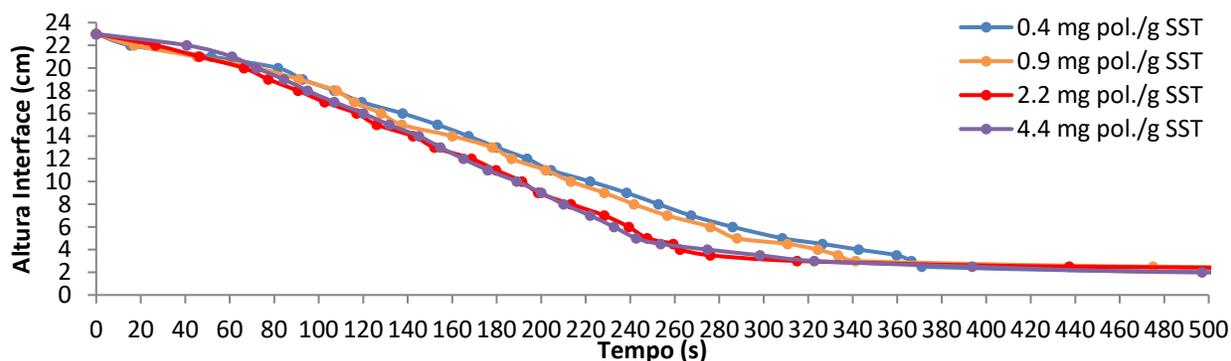


Figura 19. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com uso do polímero Tanfloc SL.

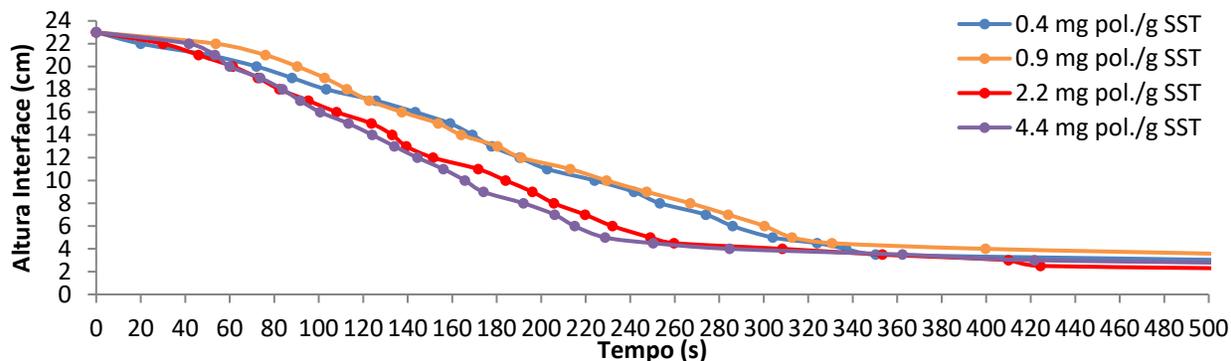


Figura 20. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com uso do polímero Tanfloc SG.

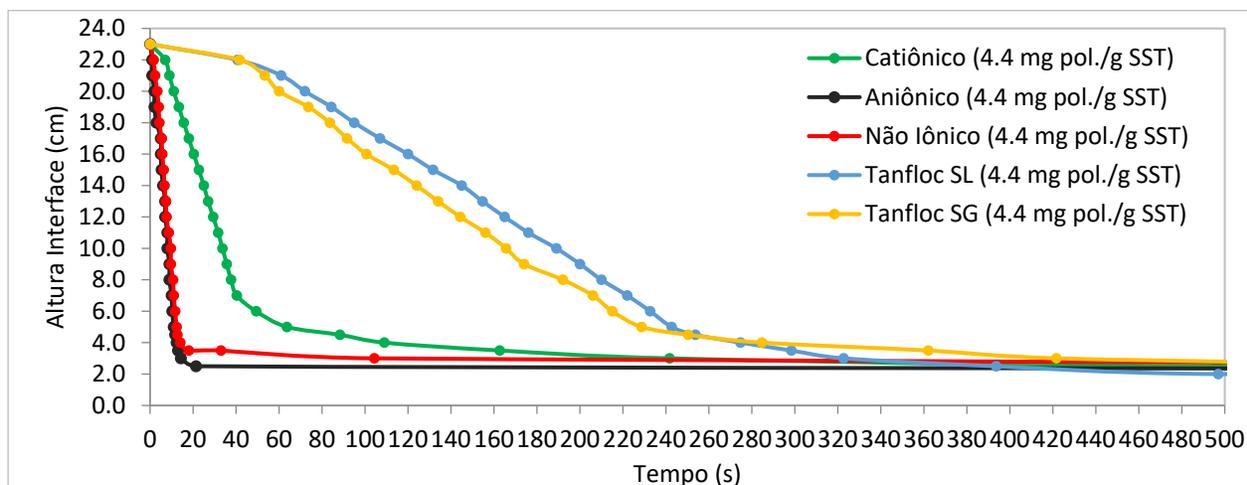


Figura 21. Curvas da interface de clarificação/adensamento do lodo de 5.7 g SST/L para as melhores dosagens de polímeros.

Pelo gráfico da Figura 21, nota-se que a melhor dosagem de todos os polímeros foi de 4.4 mg pol./g SST. No entanto, o polímero aniônico se destacou em relação aos demais, ocasionando maior sedimentação do material em menos tempo.

A Tabela 5 apresenta algumas características do sobrenadante do lodo adensado com concentração inicial de 5.7 g SST/L. Nota-se que, para os ensaios de adensamento com lodo com concentração de 5.7 g SST/L, os polímeros sintéticos se destacaram em relação aos polímeros orgânicos. O polímero aniônico, com a mesma dosagem dos demais, obteve maiores velocidades de clarificação e adensamento, mas gerou um clarificado com turbidez de 117 uT, sendo considerada elevada quando comparada à obtida com polímero catiônico (29.7 uT) e não iônico (33.8 uT).

Tabela 5. Características do sobrenadante do lodo adensado com concentração inicial de 5.7 g SST/L

Parâmetro	Unidade	Catiônico	Aniônico	Não Iônico	Tanfloc SL	Tanfloc SG
Turbidez	uT	29.7	117.0	33.8	560.0	343.0
Ferro Total	mg Fe/L	0.02	0.05	0.04	0.06	0.06
Manganês Total	mg Mn/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Alumínio Total	mg Al/L	0.02	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Carbono Orgânico Total	mg C/L	5.3	8.9	6.1	7.2	10.9
Sólidos Totais	mg/L	82.0	224.0	101.0	695.0	880.0
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	52.7	97.0	71.7	455.7	695.9
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	29.3	127.0	29.3	239.3	184.1

O objetivo dos ensaios de adensamento foi gerar um lodo com concentração final de 30.0 g SST/L, conforme apresentado anteriormente. Utilizando-se as melhores dosagens para cada polímero, foram elaborados os gráficos das Figuras 22, 23, 24, 25 e 26. Os parâmetros obtidos para que o lodo com concentração inicial de 5.7 g SST/L fosse adensado até 30.0 g SST/L estão apresentados na Tabela 6.

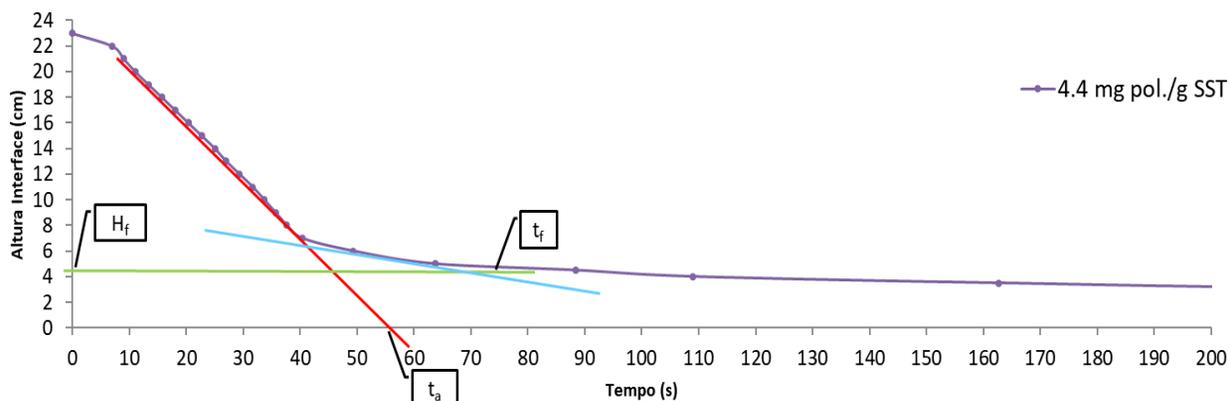


Figura 22. Método gráfico para determinação dos parâmetros de clarificação e adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com dosagem de 4.4 mg pol/g SST de polímero catiônico.

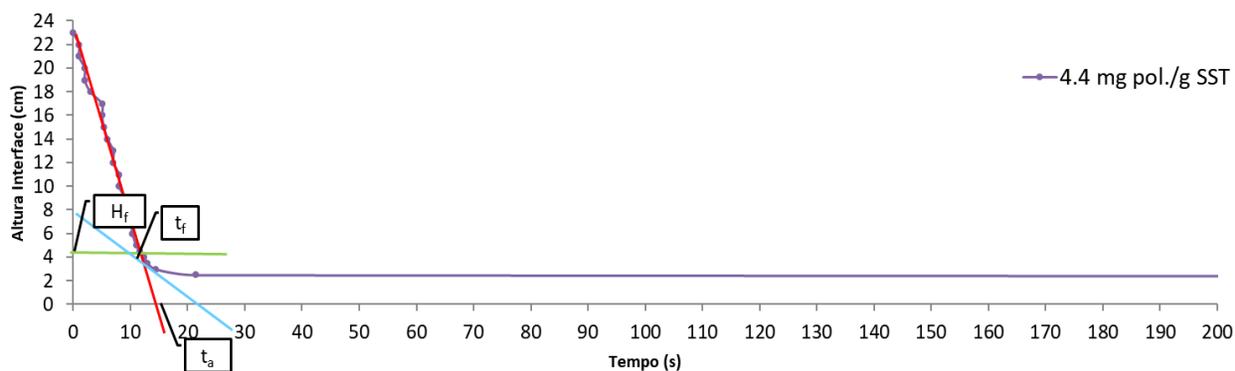


Figura 23. Método gráfico para determinação dos parâmetros de clarificação e adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com dosagem de 4.4 mg pol/g SST de polímero aniônico.

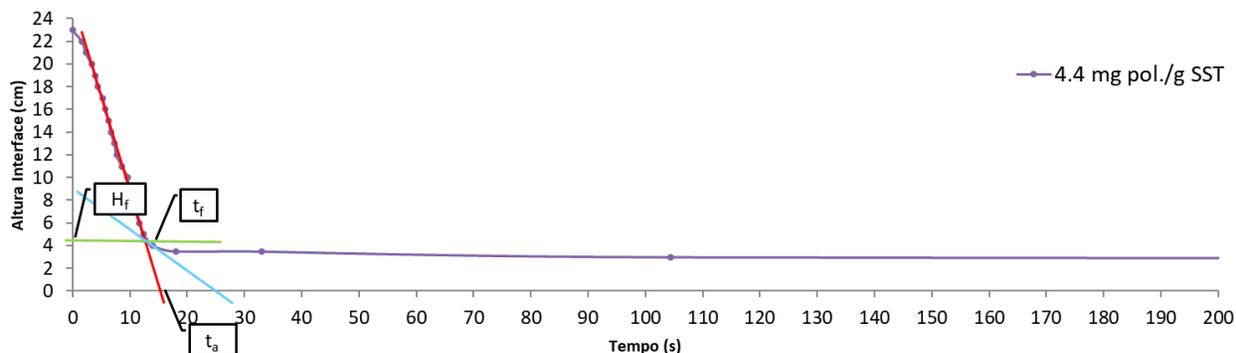


Figura 24. Método gráfico para determinação dos parâmetros de clarificação e adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com dosagem de 4.4 mg pol/g SST de polímero não iônico.

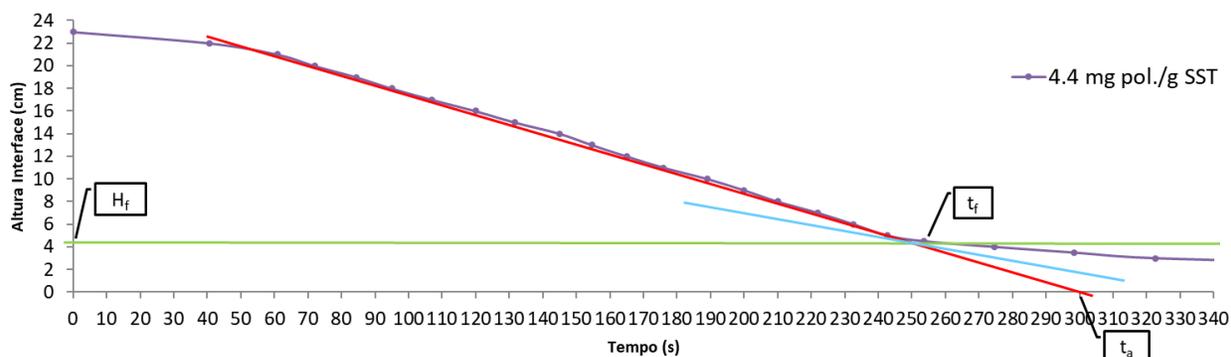


Figura 25. Método gráfico para determinação dos parâmetros de clarificação e adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com dosagem de 4.4 mg pol/g SST de polímero Tanfloc SL.

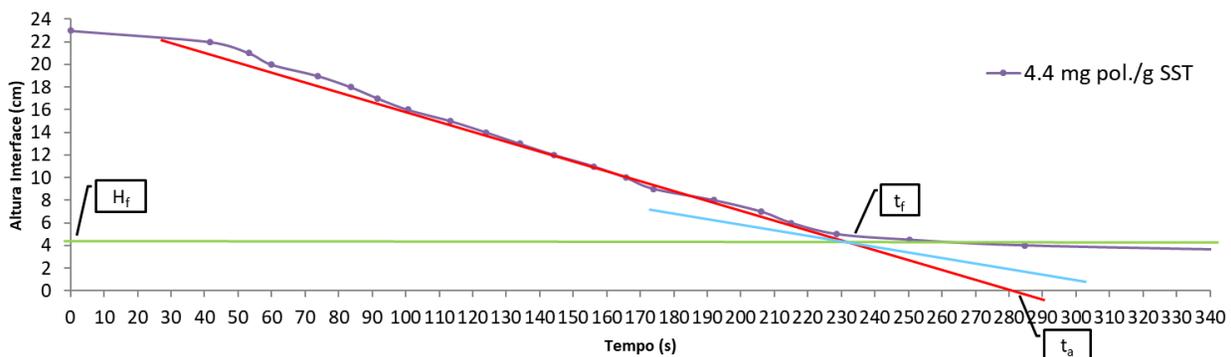


Figura 26. Método gráfico para determinação dos parâmetros de clarificação e adensamento do lodo de 5.7 g SST/L com dosagem de 4.4 mg pol/g SST de polímero Tanfloc SG.

Tabela 6. Parâmetros obtidos no adensamento por gravidade para lodo com concentração inicial de 5.7 g SST/L e final de 30.0 g SST/L.

Parâmetro	Unidade	Catiônico	Aniônico	Não Iônico	Tanfloc SL	Tanfloc SG
Tempo Final de Adensamento	s	75	9	18	255	235
Concentração Final do Lodo	g SST/L	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Velocidade Teórica de Clarificação	cm/min	24.6	106.2	86.3	4.6	4.9
Velocidade Teórica de Adensamento	cm/min	15.3	127.8	63.9	4.4	4.8

De acordo com a Tabela 5, alguns parâmetros como sólidos e turbidez do ensaio com polímero aniônico resultaram mais elevados do que os obtidos com os ensaios com polímeros sintéticos catiônico e não iônico. No entanto, quando analisamos os resultados da Tabela 6, nota-se que o tempo final do ensaio de adensamento utilizando polímero aniônico é bem menor em relação aos demais, e suas velocidades de clarificação e adensamento foram bem maiores. Isso justifica o fato dos valores de turbidez e de sólidos terem resultado mais elevados, uma vez que, por maiores que foram as velocidades de clarificação e adensamento, o sobrenadante ainda ficou com uma parte de sólidos.

No entanto, a turbidez do sobrenadante de 117 uT é pequena quando comparada com a turbidez da água bruta da água de estudo (1000 uT), logo, em função somente da turbidez, não teria nenhum problema dessa água retornar ao início da ETA.

Ressalta-se que outras dosagens de polímeros podem ser testadas para que se possa diminuir os valores de turbidez.

Em relação aos polímeros orgânicos, para este caso, não foram interessantes, uma vez que ambos apresentaram um tempo final de adensamento muito elevado, assim como a turbidez do sobrenadante e velocidades de clarificação e adensamento muito baixas.

Conclusões

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, concluiu-se que a clarificação nos ensaios de adensamento com o lodo com concentração de 0.63 g SST/L só foi possível com o uso de polímeros sintéticos, destacando-se o polímero catiônico.

Neste caso específico, com as dosagens utilizadas de polímeros orgânicos nos ensaios de adensamento do lodo de 0.63 g SST/L, não foram obtidos resultados satisfatórios. No entanto, pode ser que dosagens mais elevadas proporcionem bons resultados.

Para os ensaios de adensamento com o lodo com concentração de 5.7 g SST/L, os polímeros sintéticos se destacaram em relação aos polímeros orgânicos.

A maior dosagem empregada nos ensaios de adensamento do lodo de 5.7 g SST/L foi de 4.4 mg pol/g SST, portanto, pode ser que seja possível uma maior clarificação do sobrenadante utilizando-se o polímero aniônico ou outro polímero com uma dosagem mais elevada.

Nos ensaios de adensamento por gravidade as melhores dosagens de polímeros sempre foram as mais elevadas. Portanto, para esse tipo de lodo estudado, maiores dosagens de polímeros geraram resultados mais satisfatórios. Ressalta-se que não foi realizada nenhuma análise econômica referente às dosagens de polímeros utilizadas.

Houve influência do teor de SST do lodo na eficiência do adensamento por gravidade. No lodo com concentração de 0.63 g SST/L, o clarificado dos melhores resultados obtidos com cada polímero resultou valores de turbidez em torno de seis vezes maiores do que o obtido com o lodo de 5.7 g SST/L, assim como os sólidos totais, que foram cerca de duas vezes mais elevados. Destaca-se, também, que as velocidades de clarificação e adensamento também foram, aproximadamente, seis vezes maiores com o lodo de maior concentração, com exceção para o polímero catiônico.

Foi possível a remoção da turbidez em 75% do lodo de 0.63 g SST/L e em até 95% do lodo de 5.7g SST/L nos ensaios de adensamento por gravidade.

No adensamento do lodo de 0.63 g SST/L foi possível a remoção de 80% dos sólidos totais e 90% no lodo de 5.7 g SST/L utilizando-se o polímero catiônico.

Referências bibliográficas

- Di Bernardo, L., Dantas, A. D. B., Voltan, P. E. N. (2017) *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. 3ª Edição. Editora LDiBe, São Carlos, 1246 pp.
- Di Bernardo, A. S., Di Bernardo, L., Frollini, E. Influência do Tempo de Aplicação de Polímeros na Eficiência da Flocculação/Sedimentação. 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10445489-li-022-influencia-do-tempo-de-aplicacao-de-polimeros-na-eficiencia-da-floculacao-sedimentacao.html>
- Di Bernardo, L., Dantas, A. D., Voltan, P. E. N. *Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. 1ª Edição. São Carlos: Editora LDiBe, 540 páginas, 2012.
- Guimarães, G. C. (2007) *Estudo do Adensamento e Desidratação dos Resíduos Gerados na ETA-Brasília*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/GustavoCosta.pdf>

- Lovo, I. A. (2016) *Avaliação do adensamento por gravidade e do desaguamento por centrifugação do lodo gerado pelo tratamento de água*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 278 pp. Disponível em: <https://repositorio.unaerp.br/handle/12345/298>
- Mangrich, A. S., Doumer, M. E., Mallmann, A. S., Wolf, C. R. (2014) Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. *Revista Virtual Química Verde*, **06**(01), 02-15. <https://rvq-sub.sbg.org.br/index.php/rvq/article/view/425>
- Patrizzi, L. J., Reali, M. A. P., Cordeiro, J. S. (1999) Redução de volume de lodo gerado em decantadores de estações de tratamento de água, utilizando espessamento por flotação e por gravidade. *20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <https://docplayer.com.br/136022986-Reducao-de-volume-de-lodo-gerado-em-decantadores-de-estacoes-de-tratamento-de-agua-utilizando-espessamento-por-flotacao-e-por-gravidade.html>
- Räder, A. S. (2015) Avaliação do uso de coagulante orgânico no tratamento de água potável para abastecimento público. *28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Scalize, P. S. (1997) *Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário*. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: https://www.academia.edu/1035084/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o_e_clarifica%C3%A7%C3%A3o_por_sediment%C3%A7%C3%A3o_da_%C3%A1gua_de_lavagem_de_filtros_r%C3%A1pidos_de_esta%C3%A7%C3%B5es_de_tratamento_de_%C3%A1gua_que_utilizam_sulfato_de
- Talmage, W.P., Fitch, E.B., (2012) Determining Thickener unit areas, *Ind. Eng.Chem*, In: Di Bernardo, L., Dantas, A. D., Voltan, P. E. N. *Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. 1ª Edição. Editora LDiBe. São Carlos, 192-194.