

## AVALIAÇÃO DO DESAGUAMENTO DO LODO DERIVADO DO TRATAMENTO DE UMA ÁGUA BRUTA COM ALTA TURBIDEZ

<sup>1</sup>Yitzhak Nunes Ximenes de Melo, <sup>2</sup>Lucas Damasceno Pereira e Silva, <sup>3</sup>Giulliano Guimarães Silva<sup>3</sup>,  
<sup>4</sup>Sérgio Carlos Bernardo Queiro, <sup>5</sup>Angela Di Bermado Dantas

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil – IFTO. Bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/IFTO. E-mail: [yitzhakmelo@gmail.com](mailto:yitzhakmelo@gmail.com)

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Civil – IFTO. Bolsista de Iniciação Científica do PIBIC/IFTO. E-mail: [lucasifto@gmail.com](mailto:lucasifto@gmail.com)

<sup>3</sup>Professor do IFTO Campus Palmas da Coordenação de Controle Ambiental. E-mail: [giulliano.silva@ifto.edu.br](mailto:giulliano.silva@ifto.edu.br)

<sup>4</sup>Professor da UFT do Curso de Engenharia Ambiental. E-mail: [sergiocbp@gmail.com](mailto:sergiocbp@gmail.com)

<sup>5</sup>Professora e pesquisadora dos Programas de Mestrado Profissionalizante e Doutorado em Tecnologia Ambiental da UNAERP. E-mail: [angeladb@terra.com.br](mailto:angeladb@terra.com.br)

**Resumo:** A questão a ser estudada é analisar o tratamento de lodo de ETA proveniente de um afluente com alta turbidez, utilizando o polímero aniônico, utilizando o ensaio de bancada pressurizado. Foi necessário a confecção da água com alto teor de turbidez com o auxílio do método feito por DI BERNADO (2012), proveniente da caulinita. Os procedimentos foram adaptados ou replicados da literatura que ainda está em formação, procedimento do ensaio de bancada pressurizado foi uma réplica do ensaio feito por BATHIA (2017), ainda não normatizado, porém o mais atual do seguimento, já os ensaios de jar test foram realizados seguindo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Após o ensaio de bancada foram realizados os ensaios de teor de sólidos, turbidez e sólidos suspensos. Na faixa central adotada (12,5 g/L concentração de lodo, 2,25 mgP/gSST polímero aniônico), foi obtida a melhor eficiência do método, conseguindo reter os sólidos, formando um filter cake eficaz e resultando em uma baixa turbidez. A análise estatística foi realizada pelo método DOE (design of experiments), obtendo um modelo com o  $R^2=87,38\%$  tomando como resposta o teor de sólidos. Quando o modelo foi definido para turbidez teve o  $R^2=73,61\%$ . Revelando a influência direta das duas variáveis estudadas (concentração de lodo e turbidez), na concentração do lodo retido, formação de filter cake e eficiência de filtração.

**Palavras-chave:** Lodo, Resíduos, Polímero, Turbidez e Filter Cake.

### 1 INTRODUÇÃO

O tratamento de água levou um tempo para se desenvolver, pois a necessidade de evitar a água suja surgiu na Idade Antiga, onde o acúmulo de entulhos e dejetos começou a contaminar a água e disseminar doenças a população que a consumia. Chegando os tempos atuais, diversas legislações foram estabelecidas para garantir a qualidade da água, como no Brasil que é um direito assegurado pela constituição e pela Lei nº 11.445/2007.

O tratamento de água gera resíduos, dependendo do tipo de tratamento a ser escolhido o resíduo tem características físico-químicas distintas. Este resíduo de estação de tratamento de água (RETAS) tem características não newtonianas e é classificado como resíduos sólidos segundo a NBR 10.004/2004, o que exige disposição específica, segundo a legislação vigente. Os RETAs são produzidos principalmente em descargas e limpeza de decantadores, como também na lavagem dos filtros.

A disposição desses resíduos é basicamente realizada de forma que possibilite o desaguamento do lodo, ou seja, diminuir a alta concentração de teor de umidade e reaproveitar na estação de tratamento separando a parte sólida que pode ter sua destinação a aterros sanitários controlados ou reaproveitamento em tecnologias na engenharia, como fabricação de tijolos. Tecnologias como leito de

secagem, adensamento por gravidade, desidratação por lagoa de lodo e desaguamento por meio de geossintéticos, comumente por geotêxtil, são utilizadas para realizar essa separação.

O presente estudo tem como objetivo avaliar o desaguamento de lodo de ETA tratando água bruta com alta turbidez por meio de geossintético por meio de ensaios de bancada pressurizado. Tentando explicar a influência das variáveis no processo. Concentração de sólidos na eficiência do lodo a ser desaguado, dosagem de condicionantes químicos, avaliação da taxa de deságue do geotêxtil ao longo do tempo de operação e os tempos de desidratação necessários.

Os ensaios realizados utilizaram somente um geotêxtil em específico e um estudo estatístico experimental relacionado as variáveis dosagem de polímero e concentração do lodo afim de dizer a influência da dosagem do polímero e concentração do lodo no comportamento do desaguamento do lodo por meio do geossintético.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO/ESTADO DA ARTE**

A escolha do tratamento de RETAs (Resíduos Gerados no Tratamento de Água), depende muito das características do tratamento de água quantitativas e qualitativas os tipos de soluções para a disposição do RETA são diversos na literatura, podemos encontrar vários tipos de ETR (Estação de tratamento de resíduos), todos com a finalidade de adensar e minimizar a humidade do material, possibilitando um fim mais adequado ao resíduo. (DI BERND;DANTAS,2017)

O desaguamento pode ser realizado mecanicamente ou naturalmente. Após ser adensada, o lodo possui uma concentração muito maior, necessitando de menos área para seu desaguamento. O desaguamento mecânico pode ser realizado por centrifugas, filtro prensa de esteira, prensa desaguadora tipo parafuso entre outras ou por meio de métodos naturais como lagoa de lodo, filtração em leito de secagem, leito de drenagem, por meio de manta de geossintético (geotêxtil), também conhecidos como “bags”.

O uso de tubos e/ou bolsas de geotêxteis teve início durante os anos 70 e primeiramente foi empregado com propósito estrutural, principalmente em obras costeiras. Porém, desde 1980 a técnica de utilização de tubos geotêxteis preenchidos com sedimentos dragados, tem sido aplicada em todo o mundo em diversos tipos de obras, como por exemplo, para o desaguamento, drenagem de escoamento superficial, controle de erosão e contenção de materiais contaminados ou não. (MARTINS; VIDAL,2006)

O geotêxtil possui algumas classificações que são: o geotêxtil tecido, o geotêxtil não-tecido e o não-tecido termoligado. Variando em sua porosidade, ligações entre as fibras, espessura e etc. MOO-YONG et al. (2002) fez o estudo testando quatro tipos de mantas e percebeu que a porosidade é a

principal característica que influencia do desaguamento do lodo. Mostrando que a porosidade da manta está ligada à sua eficiência

A pesquisa de MOO-YONG (2002) envolveu outros parâmetros como turbidez da água desaguada e dosagem do polímero afim de explicar suas influências na eficiência de filtração. Outros autores pesquisaram realizando ensaios pressurizados e concluíram que os bags estudados foram eficientes tanto para retenção de impurezas quanto para o desaguamento, que a tanto a taxa de desaguamento como a eficiência de desaguamento podem ser usadas para medir a capacidade das mantas, a pressão, quanto maior for, melhor será desaguamento, mas não tendo tanta efetividade na filtração, as características dos resíduos são fatores determinantes a serem considerados. Todas essas discussões devem fazer parte no dimensionamento desse sistema. (DI BERENDO; DANTAS,2017)

### 3 METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de filtração pressurizado, foram realizados no laboratório de química no IFTO (Instituto Federal do Tocantins), campus Palmas. A geração do lodo foi realizada na ETA 006 operada pela empresa BRK Ambiental, localizada em Palmas-TO. As etapas dos ensaios estão descritas no fluxograma:

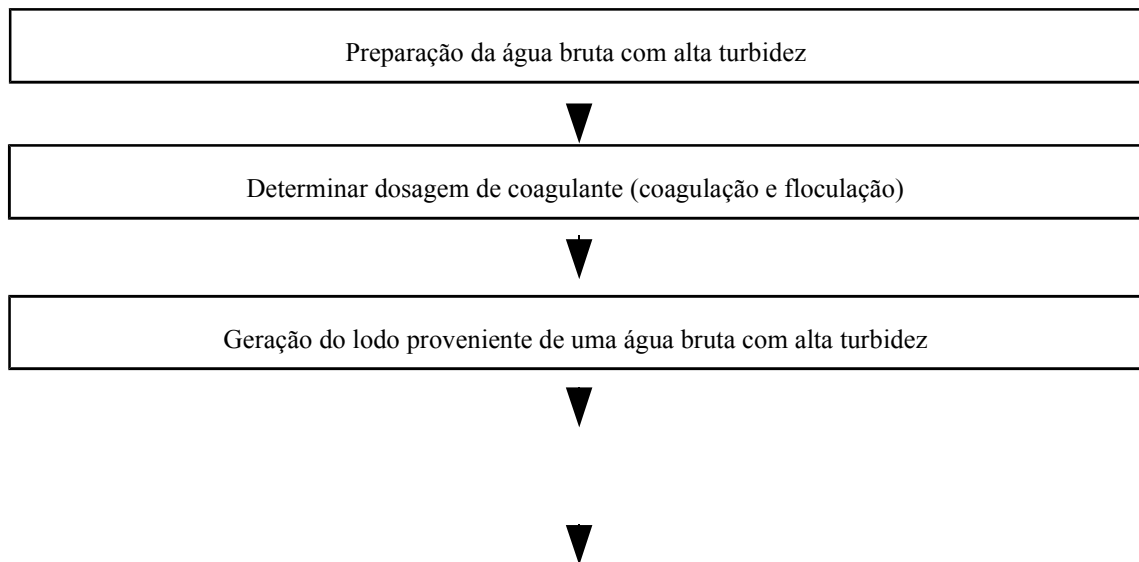


Figura 1 – Fluxograma das etapas do para realização do ensaio pressurizado de bancada.

#### 3.1 Preparação da água bruta com alta turbidez

Para simular água bruta de manancial com alto valor de turbidez, foi usada a metodologia proposta por Dantas (2004), sendo utilizado uma suspensão de Caulinita, com concentração de 21,5g de caulinita para cada litro de água. A preparação da água bruta seguiu o seguinte roteiro, a fim de se obter um valor final de turbidez de 1.000 uT:

Encher uma tina de 500 Litros com água tratada da ETA. Etapa seguinte pesar a quantidade correspondente da caulinita no caso 10,750 Kg. Após colocar o agitador (bomba com haste helicoidal), dentro da tina de 500 Litros, com água. Ligar o agitador por 2 horas. Parar o agitador após 2 horas e por último esperar a solução decantar durante 10 horas, resultado na água bruta com turbidez elevada de 1.000 uT;

### 3.2 Determinar a dosagem de coagulante.

Os ensaios de jar test foram realizados segundo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, feito para identificar a melhor dosagem do coagulante, no caso, o sulfato de alumínio e assim poder produzir o lodo que será utilizado no ensaio pressurizado. O ensaio jar test simula as etapas de coagulação e floculação comumente utilizadas no tratamento de água e que fazem parte da ETA 006 localizada em Palmas.

Foi adicionado a água bruta que foi processada na etapa anterior ao jarro. Depois é preparada várias concentrações de coagulante (sulfato de alumínio), para ser despejada em diferentes jarros com a mesma água bruta. Foi colocado no aparelho de jar test, que irá simular a coagulação com agitação rápida durante um minuto (100 rpm). Depois acontece a etapa que simula a floculação, onde o aparelho de jar test mistura em uma rotação menor 30 rpm, durante 30 minutos. Depois deixamos a solução decantar, aproximadamente por 15 minutos.

### 3.3 Preparação do lodo proveniente de uma água bruta com alta turbidez

A geração do lodo foi realizada em um floculador piloto (ver imagem 1). O equipamento foi construído de chapa metálica e possuía as seguintes dimensões (comprimento e largura de 2,0 m e altura de 1,2 m). Dentro do floculador foi instalado um agitador mecânico com uma haste helicoidal com um inversor de frequência, possibilitando a simulação do ensaio *jar test* com devidas rotações de 100 rpm e 30 rpm.



Figura 2 – Reservatório metálico com bomba de hélice helicoidal acoplada.

A água bruta com solução de caulinita foi então colocada dentro do floculador, juntamente com a dosagem de coagulante (definida na etapa anterior no Jar teste). Após um período de agitação de 20 minutos, o agitador era desligado, e iniciava o período de decantação. Após o período de decantação o lodo era extraído do reservatório através de orifício no fundo do recipiente. O registro é aberto e o lodo é coletado e armazenado. Para garantir o volume de lodo necessário para a etapa seguinte, este procedimento de geração de lodo foi feito por 5 vezes.

#### 4.4 Ensaio pressurizado de bancada

O ensaio pressurizado de bancada de tubo geotêxtil, foi executado segundo o recomendado por Bathia (2017), que consiste em um cilindro de vidro com diâmetro 75 mm, que servira de recipiente para a colocação do lodo, no caso 500 ml. Fechado em baixo por uma manta de geotêxtil e em cima por uma tampa parafusada que serviu de entrada para o ar pressurizado. Para o teste foi utilizado 500 ml do lodo gerado. O lodo foi colocado no jar test onde foi adicionado o polímero e após 60 segundos agitando, foi levado rapidamente para o cilindro de vidro. Em seguida foi ligada a bomba de pressurização com uma pressão equivalente de 1 KPa fazendo com que o volume de lodo passasse a manta de geotêxtil. O critério de pausa do ensaio foi quando a vazão de gotejamento era de uma gota no intervalo de 20 segundos. Ao final do ensaio foram feitas as análises de teor de sólidos no lodo retido, e turbidez no efluente. Seguindo o método estatístico DOE (design of experiments), no total foram realizados 11 ensaios de bancada pressurizados, variando a concentração do lodo (5, 12,5 e 20 g/L) e a dosagem de polímero (0,5, 2,25 e 4,0 mgP/gSST).

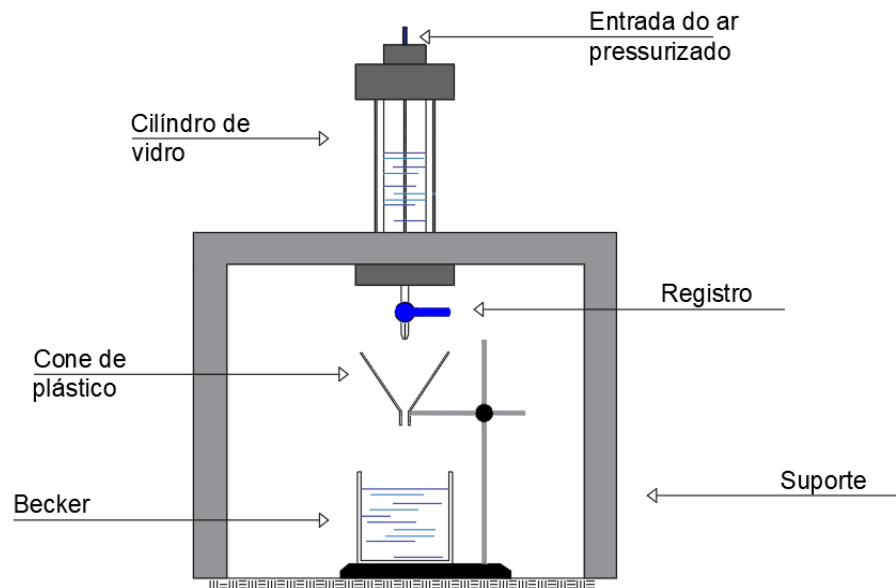


Figura 3 – Esquema representando o modelo do ensaio pressurizado

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela a seguir mostra os resultados obtidos após os ensaios de bancada:

Tabela 1 – Resultado dos ensaios pressurizados variando concentração de lodo e dosagem de polímero.

ENSAIOS	Concentração Lodo (g/L)	Dosagem Polímero (mg P/ g SST)	Volume de Polímero (mL) 0,1 (%)	Turbidez (uT)	Teor de Sólidos (%)	Umidade (%)
1	5,00	0,50	1,3	827,5	33,53	198,26%
2	20,00	0,50	5,0	297,0	35,06	185,23%
3	5,00	4,00	10,0	227,7	33,20	201,19%
4	20,00	4,00	40,0	417,7	42,47	135,48%
5	5,00	2,25	5,6	394,0	33,06	202,52%
6	20,00	2,25	22,5	431,0	36,13	176,81%
7	12,50	0,50	3,1	665,5	34,60	188,98%
8	12,50	4,00	25,0	144,3	41,19	142,77%
9	12,50	2,25	14,1	135,3	34,21	192,32%
10	12,50	2,25	14,1	141,0	36,15	176,64%
11	12,50	2,25	14,1	153,3	33,59	197,70%

Tabela 2 – Resultado dos ensaios pressurizados variando concentração de lodo e dosagem de polímero.

ENSAIOS	Concentração Lodo (g/L)	Dosagem Polímero (mg P / g SST)	Eficiência Filtração (%)	Eficiência (%)	Sólidos Suspensos	Piping (g/m <sup>2</sup> )	Sólidos Passantes (%)
1	5,00	0,50	35,51	66	3224	733	64,5
2	20,00	0,50	41,68	17	11664	2651	58,3
3	5,00	4,00	56,74	65	2163	492	43,3
4	20,00	4,00	77,64	20	4472	1016	22,4
5	5,00	2,25	43,47	65	2826	642	56,5
6	20,00	2,25	85,41	17	2918	663	14,6
7	12,50	0,50	25,47	27	9317	2117	74,5
8	12,50	4,00	80,66	32	2417	549	19,3
9	12,50	2,25	71,50	26	3563	810	28,5
10	12,50	2,25	81,09	28	2363	537	18,9
11	12,50	2,25	71,66	26	3542	805	28,3

Os resultados serão apresentados como superfície de resposta a partir da ferramenta de planejamento de experimentos e otimização de processos por Rodrigues e Iemma (2014).

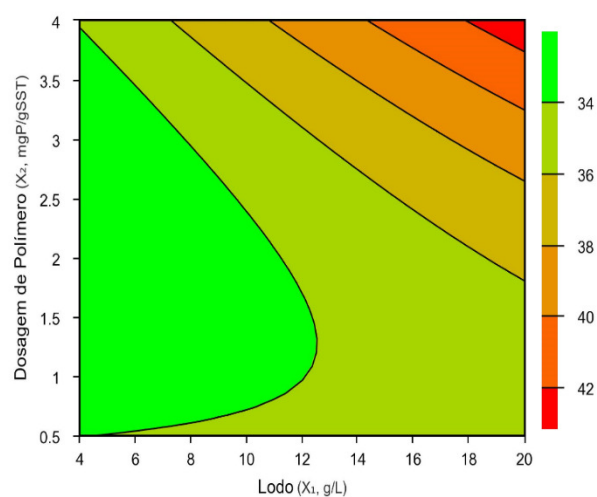
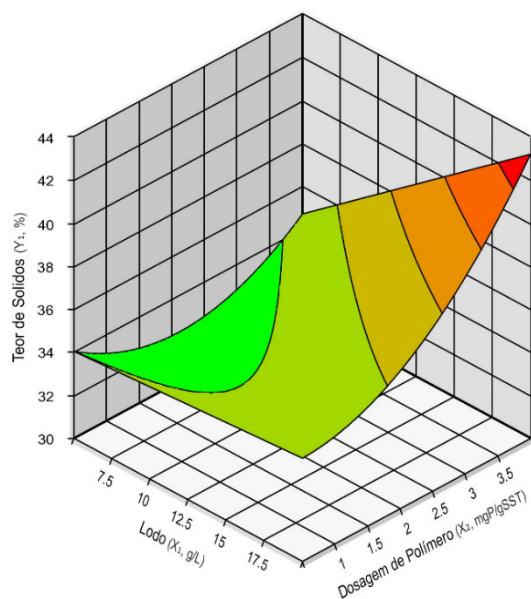
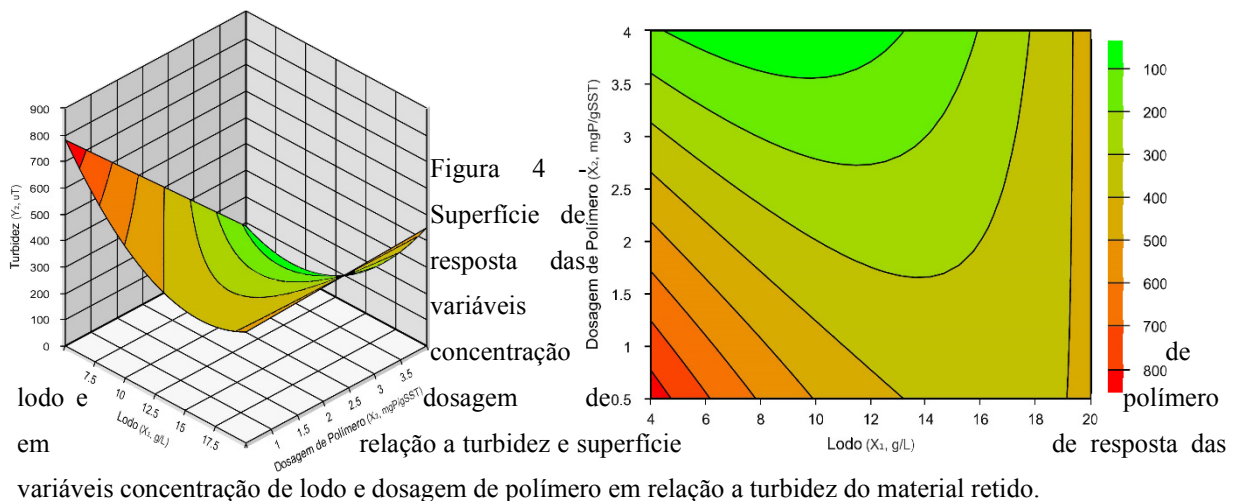


Figura 3 – Superfície de resposta das variáveis concentração de lodo e dosagem de polímero em relação ao teor de sólidos e superfície de resposta das variáveis concentração de lodo e dosagem de polímero em relação ao teor de sólidos do material retido.



O filter cake é a formação de um filtro de lodo juntamente com o polímero quando se aglomeram na manta de geotêxtil, sua formação está ligada diretamente com a clarificação do efluente, pois sua existência retém partículas da água passante, sendo as partículas maiores retidas no filtro. Notamos a divergência da sua formação quando olhamos para o resultado os ensaios 1 e 3, mesmo tendo concentrações de sólidos similares a turbidez teve uma variação. Constatando que na combinação do ensaio 1, a formação do filter cake foi menos eficiente resultando em um efluente mais turvo.

O pinping é o indicie que descreve quando filter cake sofre alguma ruptura e causa a perda da eficiência de filtração, quando comparamos os ensaios 1 e 3 percebemos, na Tabela 2, quanto maior o indicie pinping ( $\text{g/m}^2$ ) maior a porcentagem de sólidos passantes no caso do ensaio 1 foi  $733 \text{ g/m}^2$  e com a passagem de 64,5% dos sólidos. Agora no caso do ensaio 2 onde a concentração de lodo é maior, outro fator que mais influência, o piping tem o indicie  $492 \text{ g/m}^2$ , diminuindo a passagem dos sólidos para 43,3% e claro diminuindo a turbidez.

O teor de sólidos variou de 38,66% a 45,76%, tendo uma média de 43,66%. Comparado a outras análises como Bathia (2017), que atingiu uma faixa de concentração de lodo entre 34% a 38% para sedimentos finos e de 55% a 59% para sedimentos arenosos, utilizando a concentração sólidos iniciais entre 20% a 40% da água bruta, podemos comparar que não só o aumento de sólidos na água bruta

influencia na concentração do material retido no geossintético, também o material que está dissolvido na água bruta.

A medida que a proporção da concentração do lodo aumenta existe a tendência da retenção do lodo na manta de geotêxtil, essa tendência é potencializada com o aumento da dosagem do polímero de maneira que favoreça a formação de flocos e não fique excedente na solução. A faixa pode ser encontrada nas superfícies de resposta (ver figura 2). Com a intenção de ter uma retenção do lodo, poderia ser feito uma análise variando um intervalo em torno de melhor aproveitamento que seria quando a concentração do lodo é 20g/L e a dosagem do polímero foi 4 mgP/gSST. Não indicando eficiência, pois a eficiência está ligada tanto na retenção de lodo, como na quantidade de lodo passante pela manta.

Quando se trata de ter uma água mais clarificada o ponto central, quando a concentração de lodo é 12,5 g/L e de polímero 2,25 mgP/gSST, é ponto de maior relevância. Nessa faixa, se encontra o ponto com maior eficiência, porque garante uma rentabilidade de lodo (40%) e um efluente com menor turbidez (entre 5 e 10).

Analisando o modelo linear como resposta (Y) o teor de sólidos a única variável que não foi representativa foi o  $X_1^2$  que foi retirada do modelo. Gerando o modelo estatístico obteve-se, com  $R^2 = 87,38\%$  :

$$y = 34,63 + 2,31 X_1 + 2,28 X_2 + 2,05 X_2^2 + 1,93 X_1 X_2$$

Mostrando tanto a relação direta da concentração de lodo (X1), dosagem de polímero (X2) e a relação entre as duas variáveis. Quando foi analisado como resposta (Y) a turbidez,  $X_1$  e o  $X_2^2$  não foram considerados no modelo, com o  $R^2 = 73,61\%$ , resultando:

$$y = 248,88 + 184,60 X_1^2 + 166,72 X_2 + 180,13 X_1 X_2$$

A seguir o resultado da ANOVA:

Tabela 3 – Resultados estatísticos da ANOVA para avaliação do modelo definido.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
Regressão	389487,8	3	129829,3	6,5	0,0196
Resíduos	139663,3	7	19951,9		
Falta de Ajuste	139494,1	5	27898,8	329,7	0,00303

Erro Puro	169,3	2	84,6		
Total	529151,1	10			

Tabela 4 – Resultados estatísticos da ANOVA para avaliação do modelo definido.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
Regressão	89,6	4	22,4	10,4	0,0073
Resíduos	12,9	6	2,2		
Falta de Ajuste	9,4	4	2,3	1,3	0,4752
Erro Puro	3,6	2	1,8		
Total	102,6	10			

## 5 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A concentração do lodo e a dosagem do polímero influenciam diretamente na composição do filter cake e na clarificação do efluente, tornando parâmetros fundamentais para o dimensionamento do sistema.

- Quanto maior a concentração do lodo maior a formação do filter cake para o polímero aniônico concluindo que o lodo proveniente da caulinita possui partículas em sua gama positivas favorecendo a coagulação e floculação.

- O resultado do R<sup>2</sup> de 87% e 73,61% são significativos, mas em uma proporção que só orienta a dosagem do polímero para dada concentração de lodo. Visando situações similares onde a água bruta a ser tratada tenha uma alta turbidez.

## REFERÊNCIAS

RODRIGUES, Maria Isabel; IEMMA, Antonio Francisco. **Planejamento de experimentos & Otimização de processos** Campinas, SP: Cárita, 2012. ISBN 85-98389-03-X.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo; VOLTAN, Paulo Eduardo Nogueira. **Métodos e técnicas de tratamento de água** São Carlos, SP: LDiBe editora, 2017. ISBN 978-85-62324-05-5.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo; VOLTAN, Paulo Eduardo Nogueira. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água** São Carlos, SP: LDiBe editora, 2012. ISBN 978-85-62324-04-8.

BATHIA, S.K.; KHACHAN, M.M. The efficacy and use of small centrifuge for evaluating geotextile tube dewatering performance. **Geotextiles and Geomembranes** 2017.

TUCKER, Wayne R.; MOO YOUNG, Horace K. Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. **Geotextiles and Geomembranes** 2012.

FERREIRA FILHO,S.S. **Tratamento de água: Concepção, projeto e operação de estações de tratamento** Rio de Janeiro, RJ: Editora Elsevier , 2017.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água** Campinas,SP: Editora Átomo , 2010.

SLATTER, P.T. The Rheological Characterization of Sludges. **Water Science and Technology** 1997.  
DI BERNARDO, Luiz;DANTAS, Angela Di Bernardo. **MÉTODOS E TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA** São Carlos,SP: LDiBe editora , 2005.

MARTINS, Paula de Mello;VIDAL, Delma de Mattos. TUBOS GEOTÊXTEIS PARA ACONDICIONAMENTO E DESAGUAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO . **Anais do 12O Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XII ENCITA** 2006.

DI BERNARDO,Angela S. **DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DUPLA FILTRAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA COM TURBIDEZ ELEVADA** 2004. Tese (Doutorado) - Doutor em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos , 2004.

ACHON, C.L.; BARROSO, M. M; CORDEIRO, J.S.. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 18 v. 2 n. p. 115 - 122. 2013. ISSN 1413-4152.