

REVISTA AIDIS

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

AVALIAÇÃO DO DESAGUE DE LODO FÍSICO-QUÍMICO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA POR GEOTÊXTEIS

Natali Barbosa Monteiro¹
Cinthia Raquel Santos Silva²
Rosângela Gomes Tavares³
Etiene Elayne Meireles da Rocha⁴
*Maurício Alves da Motta Sobrinho⁵

SLUDGE DESAGUE ASSESSMENT PHYSICAL AND CHEMICAL WATER TREATMENT STATION BY GEOTEXTILE

Recibido el 18 de octubre de 2017; Aceptado el 9 de mayo de 2018

Abstract

The sludge generated in water treatment station (WTP) is a common problem in the sanitation service in Brazil. To reduce the sludge volume of water were used bags of geotextile, made of high density polypropylene woven that can promote a sludge reduction over 90%. In this study was evaluated the sludge generated in the ETA Botafogo (Recife - PE). The sludge collected in the decanter was packed in bags, with and without polymer conditioning, for 3 months. Physical and chemical analysis was carried out to evaluate the process. After the bags were completely filled and the percolation finished, the bags were opened. The sludge samples were submitted to the analysis of humidity (%) and metals (Fe, Cu, Pb, Zn, Mn, Al). Among the metals present, aluminum was chosen as the object of study, because aluminum sulphate was used as a coagulant in this WTP. The results showed that the concentration of metals in the sludge dried, the concentrated sludge and the bag drained liquid showed that 99% of Fe, 98% of Cu, 99% of Pb, 47% of Mn, 100% of Zn and 100% of Al, were retained in the slurry that received the addition of the polymer. When the slurry did not receive polymerization, the retention was 98%, 98%, 95%, 55%, 100% and 98% of the respective metals.

Keywords: water treatment, sludge, geotextile, bag, dehydration.

¹ Companhia Pernambucana de Saneamento

² Universidade Federal Rural de Pernambuco

³ Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco

⁴ Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), Universidade Federal de Pernambuco

⁵ Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco

*Autor Correspondente: Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Rua Prof. Arthur de Sá, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, 50.710-470, Brasil. Email: mottas@ufpe.br

Resumo

O lodo gerado em Estação de Tratamento de Água – ETA é um problema comum na indústria do saneamento no Brasil. Para reduzir o volume de água do lodo foram utilizados sacos (bags) de geotêxtil, confeccionados em tecido de polipropileno de alta densidade, que podem promover uma redução superior à 90% da umidade do lodo. Neste estudo foi avaliado o lodo gerado na ETA Botafogo (Recife – PE). O lodo coletado no decantador foi acondicionado em bags, com e sem condicionamento de polímero, por 3 meses. Foram realizadas análises físico-químicas dos lodos presentes nos bags para se avaliar o processo. Após o completo preenchimento dos bags e finalização da percolação, os bags foram abertos e as amostras de lodo foram submetidas às análises para avaliação do teor de umidade (%) e dos metais Fe, Cu, Pb, Zn, Mn e Al. Dentre os metais presentes, o alumínio foi escolhido como objeto de estudo, devido ao Sulfato de alumínio ser utilizado como coagulante nesta ETA. Os resultados mostraram que 99% do Fe, 98% do Cu, 99% do Pb, 47% do Mn, 100% do Zn e 100% do Al, ficaram retidos no lodo que recebeu a adição do polímero. Quando o lodo não recebeu o condicionamento com polímero, a retenção foi de 98%, 98%, 95%, 55%, 100% e 98% dos respectivos metais.

Palavras chave: tratamento de água, lodo, geotêxtil, bag, desidratação.

Introdução

O processo de transformação da água bruta em água potável na maioria das vezes é feito pelo tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação e filtros), com a aplicação de produtos químicos, gerando resíduos retidos principalmente nos decantadores e filtros (PIEPER, 2008). Esses resíduos gerados nos decantadores são denominados Lodo, que pela NBR 10.004 é classificado como “resíduo sólido”, assim devem ser tratados e dispostos conforme exigência dos instrumentos legais.

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005) em termos volumétricos, a maior quantidade de lodo é proveniente da lavagem dos filtros, já em termos mássicos, a maior quantidade produzida é gerada nos decantadores, por ser a sedimentação o primeiro processo físico de separação sólido-líquido. Segundo Tavares (2003), o lodo formado nos decantadores das ETAs tem a mesma composição química dos sedimentos carreados pelas águas dos mananciais de captação acrescido dos cátions utilizados no processo de floculação. No caso das estações do Estado de Pernambuco encontramos o alumínio, em grandes quantidades devido ao uso do sulfato de alumínio como coagulante.

O lodo de ETA, segundo Gradin et al. (1993) contém resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areias, argila, silte, cálcio, magnésio, ferro, manganês, entre outros. Já Richter (2001), cita que o lodo de ETA é constituído basicamente por água, sólido suspensos removidos durante a floculação e derivados dos compostos químicos necessários ao tratamento.

O destino dos resíduos provenientes de estações de tratamento de água em algumas situações são os cursos d'água próximos das estações. A crescente preocupação e a regulamentação têm

restringido ou proibido essa disposição. Esta prática tem sido questionada por órgãos ambientais devido aos riscos à saúde e ao meio ambiente (Portella *et al.*, 2003).

Segundo Achon *et al.* (2005), o lançamento in natura de lodos de ETAs causa grande impacto devido à grande concentração de metais, em especial Ferro e Alumínio, que ao serem lançados em rios de baixa velocidade podem afetar a camada bentônica dos rios formando bancos de lodo, assoreamento do curso d'água, alterações na cor e alterações na composição química e biológicas sobre a biota aquática.

Alguns metais como cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo e manganês, como também o alumínio, presentes no lodo de ETA, possuem ação tóxica, podendo apresentar efeitos positivos ou negativos nas técnicas de tratamento, disposição final e, até mesmo, na reutilização desses resíduos (Barroso & Cordeiro, 2001).

Na busca de alternativas que visem à sustentabilidade do sistema de abastecimento de água, várias tecnologias têm sido usadas para melhorar as condições desses resíduos gerados nas ETAs. São elas: deságue natural em lagoas, deságue natural em leito de secagem, adensamento mecânico em centrifugas e uso de filtros prensa (Pieper, 2008).

A desidratação ou remoção da parcela de água do lodo tem como objetivo reduzir o volume de água no lodo, com esse objetivo alguns meios utilizados para reduzir esse volume de água no lodo, esses meios podem ser mecânicos (filtro – prensa, filtro a vácuo e centrífugas), ou ainda meios naturais (leito de secagem e lagoas de lodo) (Reali, 1999).

Dentre estes processos destaca-se a utilização de manta geotêxtil como uma nova alternativa, tendo-se em vista o baixo requisito de área e custos de implantação e manutenção. (Ribeiro, 2007). Silveira (2012) cita como sistema natural o bag de geotêxtil. Cada técnica de desague possui vantagens e desvantagens. Os sistemas mecânicos envolvem alto custo de aquisição e manutenção, consumo de energia e consumo de produto químico, já os sistemas naturais necessitam de grandes áreas e dependem das condições climáticas (Di Bernardo *et al.*, 2011).

Devido à drenagem da parte líquida, ocorre uma redução de volume, o que permite o enchimento sucessivo da manta, até o volume disponível ser ocupado quase inteiramente pela fração sólida existente no rejeito. O efluente drenado pelas unidades retorna ao início do tratamento. Ao final do ciclo de enchimento e desidratação, o material sólido retido continua a sofrer um processo de consolidação, por desidratação e evaporação da água residual, através do geotêxtil, que constitui as paredes da unidade de tratamento (Franco, 2009).

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar a retenção de metais no sistema de desaguamento de lodo por geotêxteis, com e sem a aplicação do polímero.

Materiais e Métodos

O lodo utilizado foi proveniente da ETA (LETA) Botafogo (coordenadas 7°51'44"S e 34°55'4"W), a qual é responsável pela geração de aproximadamente 17% do volume de água distribuído na Região Metropolitana do Recife-PE.

As amostras foram coletadas no período de março de 2013 a outubro de 2013, totalizando 15 coletas. Em cada coleta realizada foram coletadas amostras de água bruta, água tratada, e lodo proveniente da descarga do decantador.

Parte do lodo coletado foi utilizada para a caracterização do lodo *in natura*. Uma amostra do lodo foi utilizada para realizar a determinação da dosagem ideal de coagulante (polímero de alto peso molecular, à base de poliacrilamida catiônica), segundo especificações do fabricante da geotêxtil (TenCate Geotube GT 500, com diâmetro médio dos poros de 80 μ e dimensões de 53 x 51cm). A concentração de 5% foi a que obteve melhor resultado na coagulação. Os geotêxteis e os coagulantes foram cedidos pela Allonda. Ressalta-se que o tamanho deste bag é bem inferior das dimensões de sistemas utilizados em campo, com tamanhos médios de 500 x 1500 cm para sistemas horizontais.

O ensaio com o bag de geotêxtil, consistiu na montagem experimental ilustrada na Figura 1a. A alimentação foi realizada através de um balde de PVC preso ao teto ligado ao Bag disposto em uma bacia plástica, através de um mangote de 60mm com 1.2 m de comprimento de altura. A bacia que continha o Bag possuía uma abertura com uma mangueira para obtenção do drenado. A Figura 1b apresenta um fluxograma do experimento com as análises realizadas.

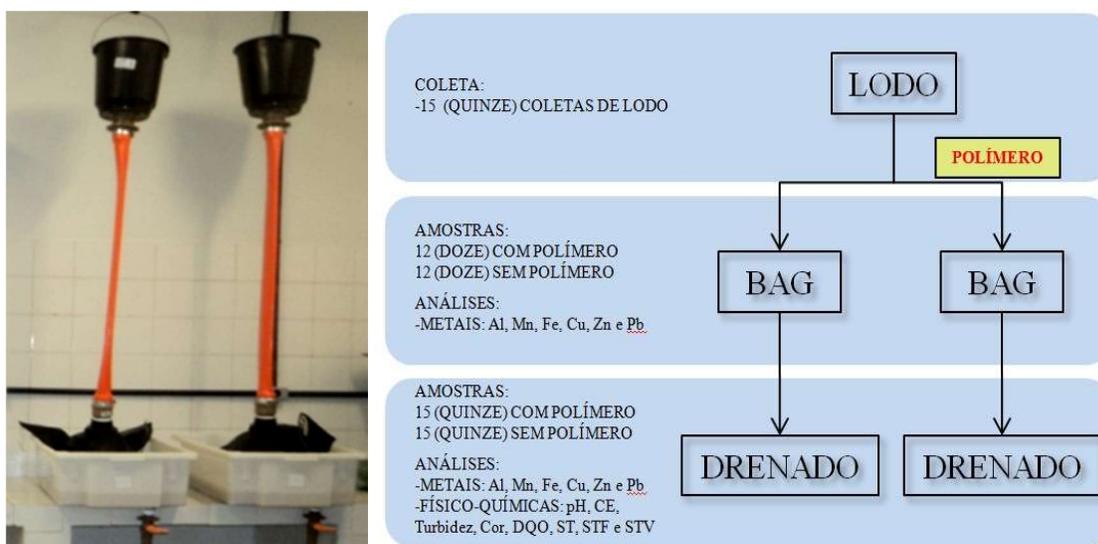


Figura 1. Montagem e fluxograma do ensaio

Ao término das coletas os Bags foram abertos e as amostras foram retiradas para análise do material. Foram coletadas amostras de pontos distintos, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Ponto de coleta das amostras no Bag

NUMERAÇÃO	PONTO DA RETIRADA DA AMOSTRA
1	Fundo do bag – esquerda superficial
2	Esquerda meio
3	Esquerda fundo
4	Fundo do bag – direita superficial
5	Direita – meio
6	Direita – fundo
7	Centro – superficial
8	Centro – fundo
9	Superior – superficial
10	Superior – fundo
11	Inferior – Superficial
12	Mistura de todo o lodo do Bag

Para a obtenção dos metais de interesse, todas as amostras foram digeridas em meio ácido segundo Método 3051A (USEPA, 1998)

Para a análise dos dados, foram utilizados os dados resultantes das análises dos metais de todos os pontos amostrais dos bags com adição de polímero (LETACC – lodo de estação de tratamento de água com coagulante) e sem a adição deste (LETASC – lodo de estação de tratamento de água sem coagulante). A base de dados utilizada apresentou 6 variáveis contando com 24 casos, o que totaliza 144 registros de dados. A base de dados foi inserida no worksheet do software Statistica 10.0, e processada para fornecer os resultados no módulo de estatística multivariada compreendendo a análise fatorial pelo método de extração de componentes principais.

Resultados e Discussão

Estatística descritiva dos metais presentes no lodo do bag

Os resultados das concentrações de metais no lodo, em cada um dos 12 pontos apresentados na Tabela 1, após a desidratação, foram submetidos à uma análise descritiva para os seis metais. As amostras, com (LETACC) e sem polímero (LETASC), foram tratadas em conjunto (não havendo distinção) nesta primeira etapa. Os valores de média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação encontram-se abaixo na Tabela 2.

Através do Coeficiente de variação da Tabela 3 pode-se verificar que a variável (metal) Manganês (Mn) apresentou uma variação importante, enquanto que as demais apresentaram pequena variação em relação aos pontos amostrais. Pode-se ainda observar que os valores de ferro (Figura 2) são bem elevados, maior mesmo que os de alumínio, proveniente do coagulante utilizado da ETA. Este fato deve-se provavelmente as características do solo que na região apresenta elevado teor de ferro, transferindo o mesmo para a água bruta.

Tabela 2. Estatística descritiva das seis variáveis.

Variáveis (mg/g de sólido)	Média	Desvio padrão	Variância	Coeficiente de variação
Al	2.784	0.350	0.123	0.126
Cu	0.151	0.023	0.001	0.154
Fe	6.702	0.885	0.784	0.132
Mn	1.601	1.138	1.295	0.711
Pb	0.074	0.025	0.001	0.342
Zn	0.546	0.174	0.030	0.319

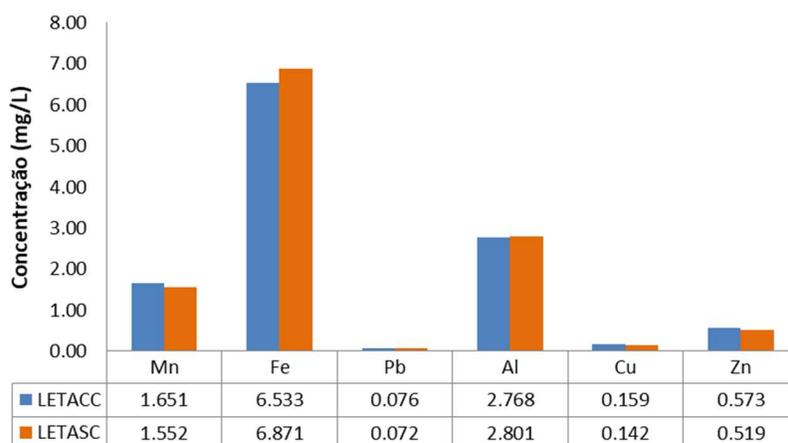


Figura 2. Comparativo da concentração dos metais dos bags.

Para se verificar a influência da dosagem de polímero na retenção dos metais, foi feita uma segunda análise, agora diferenciando as amostras do lodo com polímero e do lodo que não recebeu polímero. A estatística descritiva das amostras de lodo para as amostras com e sem adição de polímero estão apresentadas na Tabela 3. Através dos resultados obtidos, pôde-se

observar que as diferenças do lodo com e sem adição de polímero são estatisticamente insignificativas. Como as diferenças entre os pontos foi muito pequena, observada pelo desvio e variância, não foi realizado uma análise estatística da distribuição da concentração de metal dentro do bag, podendo assim ser considerada como uma amostra uniforme.

Tabela 3. Média da concentração de metais nos lodos após desaguamento

Variáveis	Com adição de polímero (LETACC)				Sem adição de polímero (LETASC)			
	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
Al	2.768	0.348	0.121	0.126	2.801	0.367	0.135	0.131
Cu	0.159	0.022	0.000	0.138	0.142	0.022	0.000	0.156
Fe	6.533	0.796	0.634	0.122	6.871	0.971	0.943	0.141
Mn	1.651	1.182	1.397	0.716	1.552	1.143	1.306	0.736
Pb	0.076	0.021	0.000	0.273	0.072	0.030	0.001	0.417
Zn	0.573	0.217	0.047	0.378	0.519	0.122	0.015	0.235

Buscou-se então avaliar a correlação entre os metais. A matriz de correlação dos 6 parâmetros (metais) analisados é apresentado na Tabela 4, a qual mostra em negrito e sublinhado as altas correlações positivas, destacando-se: manganês e chumbo; ferro e alumínio; zinco e chumbo.

Tabela 4. Matriz de correlação dos parâmetros analisados

Variáveis	Mn	Fe	Pb	Al	Cu	Zn
Mn	1.000000					
Fe	-0.181094	1.000000				
Pb	<u>0.751920</u>	0.214847	1.000000			
Al	-0.254734	<u>0.740753</u>	0.299603	1.000000		
Cu	0.279819	<u>0.657699</u>	<u>0.601537</u>	<u>0.582943</u>	1.000000	
Zn	<u>0.656962</u>	0.219894	<u>0.737703</u>	0.304794	<u>0.613448</u>	1.000000

Monitoramento do Percolado

Durante as quinze semanas em que houve a alimentação do bag com lodo, o percolado foi recolhido e armazenado. Nos dias de coleta foram também tomadas amostras da água bruta e tratada, as quais foram analisadas, assim como o lodo que alimentou o bag. Os resultados dos parâmetros monitorados para cada semana são apresentados nesta seção. Ressalta-se que cada coleta de percolado se inicia com a alimentação do bag com lodo e termina quando da nova adição de lodo.

A DQO do percolado sem coagulante apresentou um valor de 808.2 mg O₂/L na primeira semana, este valor corresponde a 65% da DQO do lodo que alimentou este bag. Já a DQO do percolado com coagulante ficou em torno de 175 mg O₂/L. Pode-se inferir que o uso do coagulante reduziu em 78% a DQO do percolado para este primeiro ponto. Todavia, a partir da 4ª semana de monitoramento os valores se aproximam. Este fato sugere que não seria necessário o uso contínuo deste produto para assegurar um percolado com baixa concentração de poluentes. Todavia, a esta diferença da concentração de DQO entre o sistema com coagulação do lodo e sem coagulação foi diminuindo (Figura 3a), fato este que pode estar associado à uma diminuição da abertura dos poros do sistema de desague pelo material do lodo, que começa a atuar como sistema filtrante. Esta diferença saiu de 78% na primeira coleta, e chegou a 6% na quinta.

A DQO do lodo bruto (saído do decantador), oscilou entre 1000 e 2000 mg O₂/L, como pode se observar na Figura 3b. Pode-se ainda constatar vários picos de concentração de DQO, os quais apresentam comportamento inverso dos sólidos totais voláteis (STV) nas 10 primeiras semanas, como pode ser constatado pela Figura 3b.

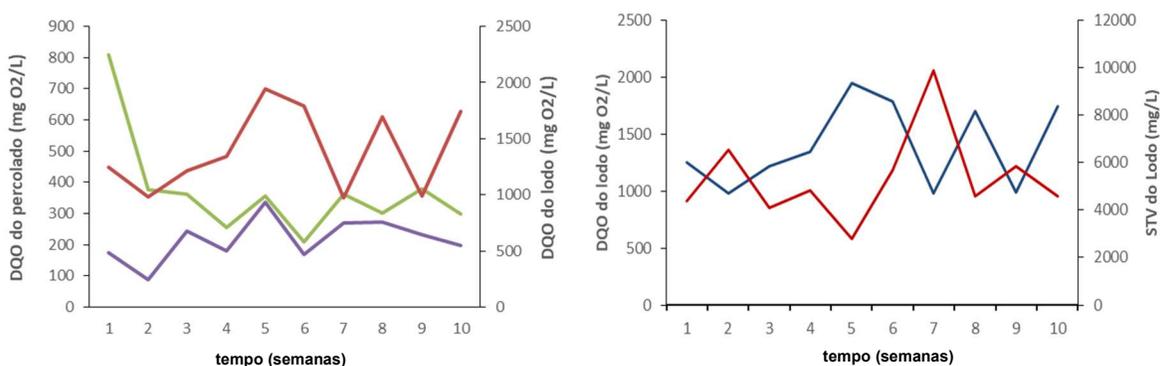


Figura 3. Valores da concentração de DQO para o lodo (-), percolado do bag sem coagulante (-) e com coagulante (-) (a) e da DQO (-) e dos STV (-) do lodo para as 10 primeiras semanas (b)

Através da Figura 4a é possível observar a variação dos valores de turbidez para as 15 semanas. O drenado de lodo de ETA com adição de polímero apresentou um pico na 2 semana, com variações mínima de 19 NTU e máxima de 402 NTU, mantendo uma média de 199 NTU. Este valor é inferior à média do drenado de lodo de ETA sem adição de polímero, que foi de 354 NTU. Merece destaque o fato de que, com a evolução das semanas, a turbidez do sistema sem coagulante reduziu, chegando a valores inferiores ao do sistema com coagulante a partir da 12ª semana. Este fato pode ter ocorrido pela agregação de pequenas partículas na superfície da geotêxtil, diminuindo a porosidade e aumentando a eficiência de retenção. No sistema com coagulante estas partículas são aglomeradas, formando agregados maiores.

Na Figura 4b é possível observar que a concentração dos sólidos se manteve maior no drenado que não teve adição de polímero, assim o material particulado conseguiu com mais facilidade ultrapassar a manta geotêxtil. A média de ST no drenado sem adição de polímero foi 488 mg/L, já o drenado que recebeu adição de polímero teve uma média de 333mg/L. Pode-se observar que a concentração de sólidos totais, voláteis e fixos do percolado oriundo da geotêxtil sem adição de polímero sempre apresentou valores mais elevados que o da geotêxtil com polímero. Esta diferença foi mais significativa para os sólidos voláteis que estão associados à matéria orgânica. Logo, pode-se deduzir que o uso do polímero no geotêxtil contribuiu para a redução da carga poluente.

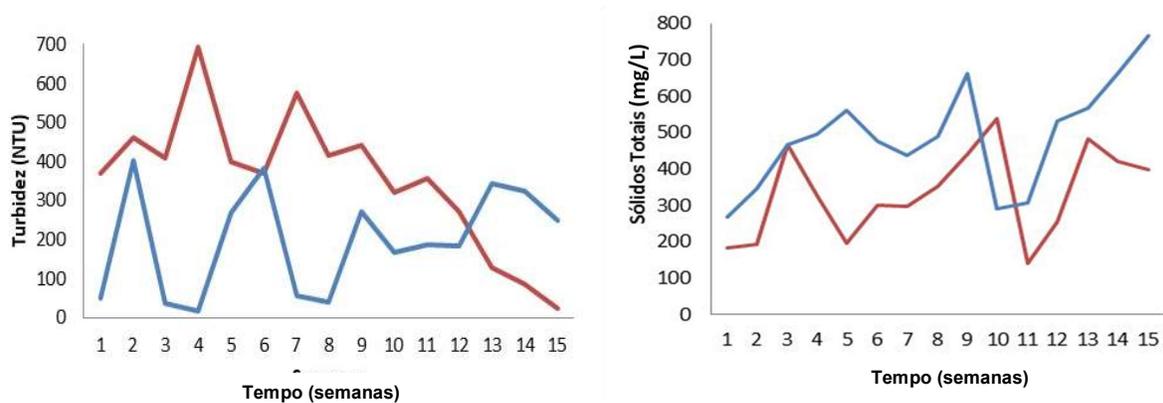


Figura 4. Variação da Turbidez (a) em NTU e dos Sólidos Totais (b) em mg/L, do líquido drenado para as 15 semanas. Drenado do lodo sem aplicação do coagulante (-) e com aplicação do coagulante (-).

A amostra de lodo bruto, para a primeira semana, apresentou concentração de alumínio inferior à do drenado. Este fato deve-se a lixiviação dos metais pela água presente no lodo. De uma forma geral, as concentrações de percolado dos lodos com adição de polímero apresentaram valores inferiores ao dos percolados sem adição do mesmo (Figura 5a).

Durante os experimentos observou-se que a concentração de ferro para água bruta e tratada se mantiveram dentro do valor máximo permitido de 0.3 mg/L, para padrão máximo de consumo humano, de acordo com a Portaria MS 2.914/11. Há exceção para a décima primeira e décima quarta semanas, que apresentaram picos de 0.353 e 0.66 mg/L, respectivamente. As concentrações encontradas na água bruta se justificam por alguns fatores, como exemplo o aumento do nível de ferro nas estações chuvosas devido ao carregamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens, o que deve ser analisado de acordo com o período da coleta. A Figura 5b mostra as concentrações de ferro para as amostras de lodo e os drenados com e sem polímero, apresentando variações nas concentrações dos drenados. Observa-se que para o ferro,

metal em maior abundância no lodo, até a nona semana o sistema com uso de polímero foi mais eficiente. Todavia para as semanas subsequentes, excetuando-se a 14ª, o sistema sem adição de polímero apresentou concentrações de ferro mais baixas, não sendo possível obter uma definição sobre o uso do polímero em relação à retenção de ferro.

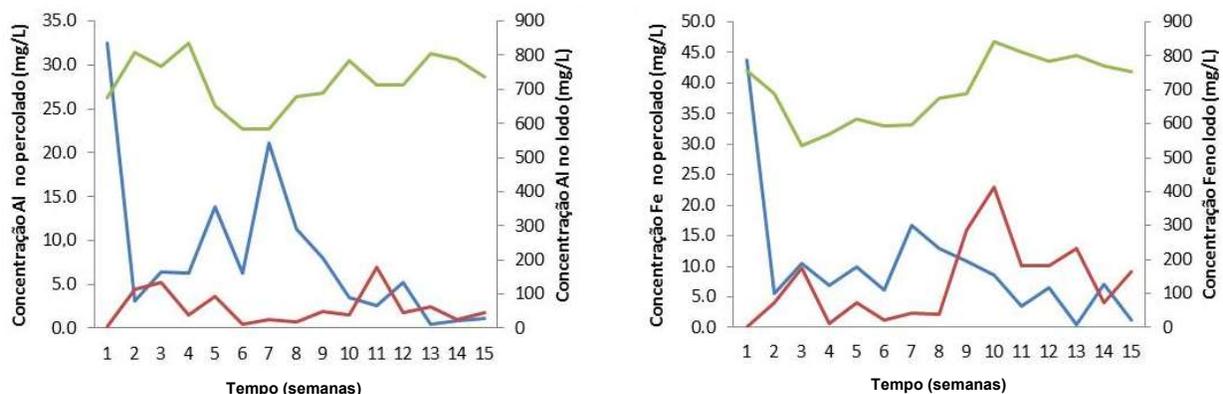


Figura 5. Valores da concentração de alumínio (Al) e de ferro (Fe) para o lodo bruto (-), percolado do bag sem polímero (-) e com polímero (-) na alimentação

O terceiro metal de maior concentração de acordo com os resultados apresentados na Figura 2 foi o manganês. O valor de maior destaque em relação ao percolado foi observado na coleta da primeira semana, na qual houve um pico inicial de 0.44 mg/L, sendo esse valor o máximo encontrado para as quinze semanas. Os dados das concentrações de manganês para o lodo e percolados (com e sem adição do polímero) são apresentados na Figura 6. Através desta figura observa-se um pico de concentração na segunda semana que depois decaem e permanecem baixos até a semana final.

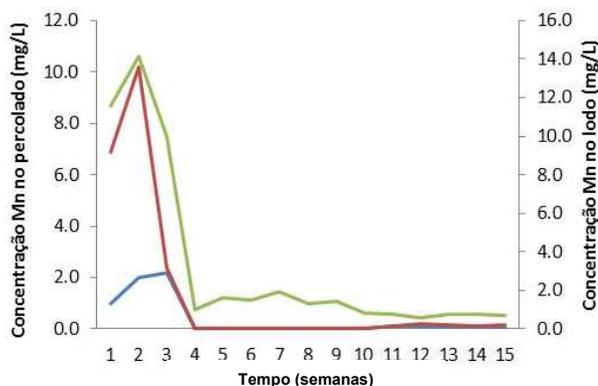


Figura 6. Valores da concentração de manganês (Mn) para o lodo (-), percolado do bag sem polímero (-) e com polímero (-).

Conclusões

Caracterizou-se todo o percolado obtido após cada alimentação no ensaio do bag, comparando-se a retenção de metais para os sistemas com e sem uso do polímero. O ponto amostral de maior relevância no bag foi à amostra do lodo misturada que recebeu adição de polímero, contribuindo com 53% da variabilidade do estudo. O variável Manganês apresentou uma média variação em relação às demais variáveis, isso ocorreram para as duas condições com e sem polímero.

Em todas as amostras foram analisados metais, destacando-se a presença em maior concentração do alumínio, ferro e manganês. Importante citar que a ETA estudada utiliza como coagulante o sulfato de alumínio. Percebeu-se a retenção de metais no sistema de desaguamento de lodo por geotêxteis. A adição do polímero ao lodo ajuda na desidratação e facilita o manuseio para disposição final. No ensaio verificou-se a necessidade de uso contínuo deste produto para assegurar um percolado com baixa concentração de poluentes e maior retenção de alguns metais.

Referências bibliográficas

- Achon, C.L., Megda, C.R., Soares, L.V. (2005) Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Campo Grande, MS.
- Barroso, M.M., Cordeiro, J.S. (2001) Problemática dos metais nos resíduos gerados em estações de tratamento de águas. In: Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Di Bernardo, L., Dantas, A.D.B, Voltan, P.E.N. (2011) Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. Editora LDiBe, São Carlos, SP.
- Di Bernardo, L.; Dantas, A.D.B. (2005) Métodos e técnicas de tratamento de água. São Carlos: RiMa Editora, 2. ed. v.2, 1565 pp.
- Franco, E.S. (2009) Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. PROÁGUA, Universidade Federal de Ouro Preto.187 pp.
- Grandin, S.R., Alem Sobrinho, P., Garcia Jr., A.D. (1993) Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17, 1993, Natal. Anais. Natal: ABES, v.2, 324-341.
- Pieper, K.M.C. (2008) Avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos de estação de tratamento de água. Dissertação de mestrado. Porto Alegre.
- Portella, K.F., Andreoli, C.V., Hoppen, C., Sales, A. Baron, O. (2003) Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, Joinville.
- Ribeiro, F.L.M. (2007) Quantificação e caracterização química da ETA Itabirito – MG. Dissertação de mestrado. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. PROÁGUA, Universidade Federal de Ouro Preto. 124 pp.
- Richter, C.A. (2001) Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 135 pp.



- Silveira, C. (2012) Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil. Dissertação de mestrado. Londrina, Paraná, 130pp.
- Tavares, R.G. (2003) Problemas operacionais da indústria da água: consumo excessivo de cloro na linha tronco de distribuição do sistema Gurjaú e lodos gerados pelas 6 maiores estações de tratamento de água da Região Metropolitana do Recife. Dissertação (Mestrado) - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 145 pp.
- USEPA (2013). Method 3051 A. 1998b. Acesso em:12 de março de 2013. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf>