

II-010 - AVALIAÇÃO DO USO DE BOLSA DE GEOTÊXTIL NO DESAGUAMENTO DO LODO GERADO POR PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO APLICADO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Wagner Guadagnin Moravia⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Prof. Efetivo do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Jéssica Mendes de Sá

Engenheira Ambiental pela Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais/Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental. Av. Amazonas, 5253 / 2º andar / Sala 201 – Nova Suíça - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.421-169 - Brasil - Tel.: (31)3319-7109 - E-mail: moravia@cefetmg.br.

RESUMO

A matéria orgânica presente em lixiviados de aterros estabilizados se caracteriza principalmente pela sua natureza recalcitrante, podendo ser associada à incapacidade dos microrganismos de degradar ou transformar essas substâncias, o que inviabiliza técnicas biológicas convencionais. Dentre as novas tendências no tratamento de lixiviado, o processo oxidativo avançado (POA) pelo reagente de Fenton destaca-se diante de seu elevado potencial de remoção de poluentes orgânicos resilientes. Entretanto, a aplicação do POA baseado no reagente de Fenton é limitada pela geração de lodo durante o processo. Este lodo possui elevada concentração de ferro, o que torna necessário o seu condicionamento prévio antes de sua destinação final. Atualmente, a técnica mais usual para o condicionamento de lodos contaminados são as lagoas de sedimentação. Porém, esta técnica quando aplicada em larga escala apresenta uma série de dificuldades e riscos tanto ao meio ambiente quanto a segurança da população. Nesse contexto, a presente pesquisa avaliou o uso de bolsa de geotêxtil para o deságue do lodo gerado no POA pelo reagente de Fenton aplicado no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Os resultados mostraram que a adição de coagulantes na etapa que antecede o deságue através da bolsa de geotêxtil não foi impactante na eficiência de remoção de ST do líquido reacional POA. Em contrapartida, a aplicação de polímeros floculantes é recomendada devido a característica do lodo formado (flocoso). Por fim, a bolsa de geotêxtil assistida com a adição de polímero floculante permitiu uma eficiência de remoção de ST de aproximadamente 75% e eficiência de desaguamento de 48% no lodo gerado pós-POA.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado de aterro sanitário, Processo oxidativo avançado, Reagente de Fenton, Desaguamento de lodo; Bolsa de geotêxtil.

INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterro sanitário pode ser definido como o líquido proveniente da umidade natural e água de constituição presente na matéria orgânica dos resíduos, dos produtos da degradação biológica dos materiais orgânicos e da água de infiltração na camada de cobertura e interior das células de aterramento, somado a materiais dissolvidos ou suspensos extraídos da massa de resíduos (MORAVIA, 2010). É um líquido escuro, de odor desagradável, contendo alta concentração de matéria orgânica, amônia e compostos tóxicos. Estes, quando descartado sem tratamento prévio, podem causar grandes problemas ambientais como a toxicidade para a biota existente, diminuição do oxigênio dissolvido do corpo receptor e eutrofização de corpos d'água (GOMES, 2009).

A matéria orgânica presente em lixiviados de aterros sanitários estabilizados se caracteriza principalmente pela sua natureza recalcitrante, podendo ser associada à incapacidade dos microrganismos de degradar ou transformar essas substâncias, o que inviabiliza técnicas biológicas convencionais. Dentre as novas tendências no tratamento de lixiviado de aterro sanitário, o processo oxidativo avançado pelo reagente de Fenton destaca-

se como alternativa atrativa diante de seu elevado potencial de remoção de poluentes orgânicos resilientes, além do aumento de biodegradabilidade e a redução de toxicidade do efluente, e ainda, o emprego de agentes químicos que quando decompostos em água não são elementos agressivos ao meio ambiente (BANDALA *et al.*, 2004; GOGATE & PANDIT, 2004).

Entretanto, a aplicação do POA baseado no reagente de Fenton é limitada pela geração de lodo durante o processo. Este lodo possui elevada concentração de ferro o que torna necessário o seu condicionamento prévio antes de sua destinação final. Atualmente, a técnica mais usual para o condicionamento de lodos e sedimentos contaminados são as lagoas de sedimentação. Porém, esta técnica apresenta uma série de dificuldades tais como: requisito elevado de área; envolvem altos custos em sua construção; falhas na estanqueidade de fundo da lagoa, o que pode acarretar contaminação do solo e das águas subterrâneas; e o fato dessas lagoas estarem associadas a uma barragem de contenção, logo, sujeitas a ruptura por acúmulo de resíduos e consequentes acréscimos de tensões. O período de chuvas também agrava a demora na separação da parte líquida da sólida, trazendo o risco de transbordamento da mesma (CASTRO, 2005).

O uso de bolsas de geotêxtil teve início durante os anos 70 e primeiramente foi empregado com propósito estrutural, principalmente em obras costeiras. Mais recentemente, esta técnica tem sido empregada em todo o mundo para o desaguamento e contenção de materiais contaminados ou não. O método envolve o bombeamento do lodo dentro de bolsas de geotêxtil, os quais permitem que a água seja filtrada pelas aberturas de filtração do geotêxtil. As bolsas retêm os sedimentos e promovem um efetivo desaguamento, reduzindo o volume e aumentando a porcentagem de matéria sólida. A bolsa com material contido pode servir de disposição final em função de seu isolamento e estabilidade geotécnica. Em alguns casos, o efluente do desaguamento pode ser lançado no meio ambiente ou reaproveitado, ou se necessário, pode ser retornado para o tratamento (PILARCZYK, 2000). Estas bolsas podem ser de vários tamanhos dependendo de alguns fatores, tais como a quantidade de material a ser contido e a disponibilidade de espaço físico para acomodar as bolsas durante o desaguamento. Eles podem ser preenchidos com qualquer material capaz de ser transportado hidráulicamente e são projetados para resistir às pressões atuantes durante o enchimento e sua disposição.

Nesse contexto, a presente pesquisa avalia o uso de bolsa de geotêxtil para o deságue do lodo gerado no processo oxidativo avançado pelo reagente de Fenton aplicado no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. A pesquisa foi dividida em duas partes: a primeira avalia diferentes coagulantes no condicionamento prévio do lodo pós-POA antes de destiná-lo na bolsa de geotêxtil, bem como a otimização de suas condições operacionais de aplicação; a segunda consistiu da investigação do desaguamento de lodo pós-POA através de bolsa de geotêxtil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Reagente de Fenton

Os ensaios de POA para geração do líquido reacional foram executados em reator com agitação mecânica de capacidade para 30 L. O reator possui compartimento único e o ensaio foi realizado em batelada. A técnica utilizada foi a do reagente de Fenton e consistiu em duas etapas: oxidação e neutralização. Inicialmente foi feito o ajuste de pH com ácido sulfúrico em 1 L de lixiviado, seguido pela adição de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) da marca Fmaia e adição de solução de peróxido hidrogênio 30% (v/v) da marca Êxodo científica. As condições operacionais do ensaio foram: $\text{C:H}_2\text{O}_2 = 1:3,055$, $\text{Fe:H}_2\text{O}_2 = 1:4,13$ e $\text{pH} = 3,47$. A duração da reação foi de 30 minutos sob agitação de 60 rpm.

Caracterização do lixiviado bruto e líquido reacional pós-POA

A caracterização do lixiviado bruto e do líquido reacional pós-POA foi realizada em triplicata. Após o término do ensaio, foram coletadas alíquotas de 150 mL de amostra homogeneizada para posterior caracterização. As análises contempladas foram DQO (5220 B), Cor (2120 B - Hach 2100AN), Sólidos (2510 B; 2540 B C) e Temperatura e foram realizadas conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Avaliação de diferentes coagulantes para a coagulação prévia do líquido reacional pós-POA

Foram avaliados diferentes tipos de coagulantes no condicionamento prévio do lodo antes de destiná-lo na bolsa de geotêxtil. Os agentes coagulantes estudados foram: sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) da marca Synth, Tanfloc SG da marca TANAC e sementes de *Moringa oleífera* Lam. As sementes de moringa foram utilizadas de duas formas distintas: na forma moída, e na forma peneirada (após moagem). Neste último caso, a peneira utilizada foi de 1 mm de abertura da malha.

A coagulação/floculação foi promovida em *Jar Test* (ou teste de jarros) de 6 provas (modelo 603, marca MILAN), dotado de regulação de velocidade de mistura até 600 rpm e reservatórios com capacidade máxima de 2 L. Para a realização dos ensaios foram transferidos, para cada uma das suas seis cubetas, 250 mL do líquido reacional pós-POA homogeneizado. Em seguida, o pH foi ajustado com $\text{NaOH}/\text{H}_2\text{SO}_4$, o coagulante foi adicionado e o equipamento acionado. A velocidade de mistura e o tempo de reação das etapas de coagulação/floculação foram, respectivamente, de 250 rpm/40 segundos e 20 rpm/10 min. Por fim, o sistema foi mantido em repouso por 30 minutos para a decantação do lodo. Alíquotas de amostras do sobrenadante foram coletadas e caracterizadas quanto a presença de ST. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente.

Otimização da coagulação do líquido reacional pós-POA

As condições operacionais do processo de coagulação avaliadas foram a concentração de coagulante (C_c) e o pH. A otimização foi com base na variável resposta eficiência remoção de sólidos totais (ST) após um tempo de sedimentação de 30 minutos, e consistiu em duas etapas: 1. Avaliação do potencial de coagulação para os diferentes coagulantes; 2. Otimização dos fatores operacionais do coagulante com maior potencial de coagulação. Para a avaliação do potencial de coagulação para os diferentes coagulantes foi empregado um Planejamento Fatorial 2^2 (PF 2^2) e observado o efeito principal sobre a variável resposta para os diferentes coagulantes. Selecionado o processo com maior potencial de coagulação, foi realizada a otimização dos fatores operacionais do mesmo através de um Delineamento Composto Central Rotacional 2^2 (DCCR 2^2). Vale ressaltar que as condições limites iniciais foram adotadas de acordo com a literatura/recomendação do fabricante (Tanfloc SG). Os resultados foram analisados com o auxílio do software estatístico MINITAB® Release 14.

Investigação do desaguamento de lodo pós-POA através de bolsa de geotêxtil

A avaliação do desaguamento do lodo gerado utilizou a condição otimizada do coagulante sendo através do Teste do Cone. Este teste pode ser entendido como um indicador da eficiência do geotêxtil no desaguamento de lodo. Como a sedimentação natural de partículas finas é lenta, a inserção de polímeros floculantes foi utilizada como assistência para agregar partículas, aumentando, dessa forma, a velocidade de sedimentação dos sólidos e sua retenção pelas malhas do geotêxtil. O polímero floculante utilizado foi do tipo aniônico sendo fornecido pela empresa Tanac S.A.

O Teste do Cone ocorreu por meio da passagem do efluente através de um geotêxtil circular moldados em forma de cone. Esse cone foi produzido a partir de uma circunferência de diâmetro 0,45 m que foi dobrada nesse formato, gerando um diâmetro aproximado de 0,2 m. Esse teste usou como base a ABNT NBR 10.664/89 para a determinação do teor de sólidos com base no método gravimétrico. Para a realização deste teste, aproximadamente 1 L do lixiviado pós-POA (líquido reacional) foi submetido à coagulação/floculação em um béquero de 1 L em condições otimizadas. O lodo formado foi então separado através de processo de sedimentação. Com o objetivo de avaliar o desempenho do floculante, foram testadas as concentrações de 0, 2, 3, 6, 8 e 10 mg L^{-1} . Em seguida, 300 mL lodo foi transpassado no cone de geotêxtil. Amostras do líquido drenado foram coletadas nos intervalos de 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20; 20 a 30; 30 a 45 e 45 a 60 min.

O desempenho do geotêxtil foi medido em função da eficiência de filtração (EF), eficiência do desaguamento (ED) e da taxa de desaguamento (TD) conforme proposto por Martins e Vidal (2006). A EF foi obtida através da Equação 1:

$$EF = \left(\frac{ST_{\text{inicial}} - ST_{\text{final}}}{ST_{\text{inicial}}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

A ED é o melhor indicador da capacidade de desaguamento do sistema lodo/geotêxtil, e pode ser determinada comparando as porcentagens de sólidos final (PS_{final}) e inicial ($PS_{inicial}$). A ED foi obtida através da Equação 2:

$$ED = \frac{PS_{inicial} - PS_{final}}{PS_{inicial}} \cdot 100 \quad (2)$$

A taxa de desaguamento (TD) pode ser definida através da curva da variação das porcentagens de sólidos final (PS_{final}) com o tempo.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Caracterização do lixiviado bruto e pós-POA

Os ensaios de caracterização do lixiviado bruto e do líquido reacional pós-POA são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - 1 Caracterização do lixiviado bruto e líquido reacional pós-POA.

Parâmetros físico-químicos	Unidade	Lixiviado bruto				Líquido reacional pós-POA*			
		Máx.	Mín.	Média	Desvio	Máx.	Mín.	Média	Desvio
DQO	mg L ⁻¹	3.191	2.291	2.752	400	941	663	789	141
Cor Real	uH	3.995	2.540	3.148	629	48.033	44.283	46.089	1.879
ST	g L ⁻¹	6,1	3,3	4,1	1,1	21,1	20,1	20,5	0,4
STF	g L ⁻¹	4,0	0,9	2,1	0,9	13,1	11,9	12,7	0,4
STV	g L ⁻¹	2,6	1,3	2,0	0,5	8,8	7,0	7,8	0,7
Temperatura	°C	8,2	8,1	8,3	0,1	25,6	25,2	25,5	0,1

* Líquido reacional pós-POA homogeneizado.

De acordo com os resultados, notou-se que a concentração de ST no líquido reacional pós-POA aumentou em 500%, indicando uma intensa a geração de lodo após esta etapa de tratamento, o que reforça a importância de uma técnica de condicionamento do lodo. Os resultados também mostraram uma relação STV/STF de 0,61 para a fração homogênea do líquido reacional pós-POA, o que indica uma predominância da fração inorgânica neste efluente. A maior concentração de sólidos fixos pode ser atribuída à precipitação de ferro na forma de hidróxidos, além de outros compostos mineralizados na reação do POA. Com relação à cor, pode-se observar um significativo aumento após tratamento. Esse fato pode ser explicado pela presença de ferro que foi adicionado durante o processo, o que promove uma coloração alaranjada característica ao líquido. Ressalta-se ainda a possibilidade de ocorrência de adsorção de outros compostos ao material em suspensão contribuindo para a elevação deste parâmetro. Além disso, a DQO persistente no líquido reacional pós-POA pode ser justificada pela formação de produtos intermediários estáveis que requerem um maior tempo para oxidação. Esses fatos sugerem que tratamentos de natureza físico-química são mais indicados para a remoção de matéria orgânica persistente nesse efluente. A maior concentração de sólidos fixos pode ser atribuída à precipitação de ferro na forma de hidróxidos, além de outros compostos mineralizados na reação do POA. Nota-se também que a concentração de sólidos gerados após o POA foi acima de 500% com relação aos presentes no lixiviado bruto. Vale ressaltar ainda que a DQO persistente ao POA pode ser justificada pela formação de produtos intermediários estáveis que requerem um maior tempo para oxidação. Sendo assim, reforça-se a importância de uma técnica de condicionamento do lodo por confinamento, o que contribui para uma maior preservação do meio natural.

Avaliação de diferentes coagulantes para a coagulação prévia do líquido reacional pós-POA

Os resultados obtidos para o estudo do potencial de coagulação para os coagulantes avaliados são apresentados na Figura 1.

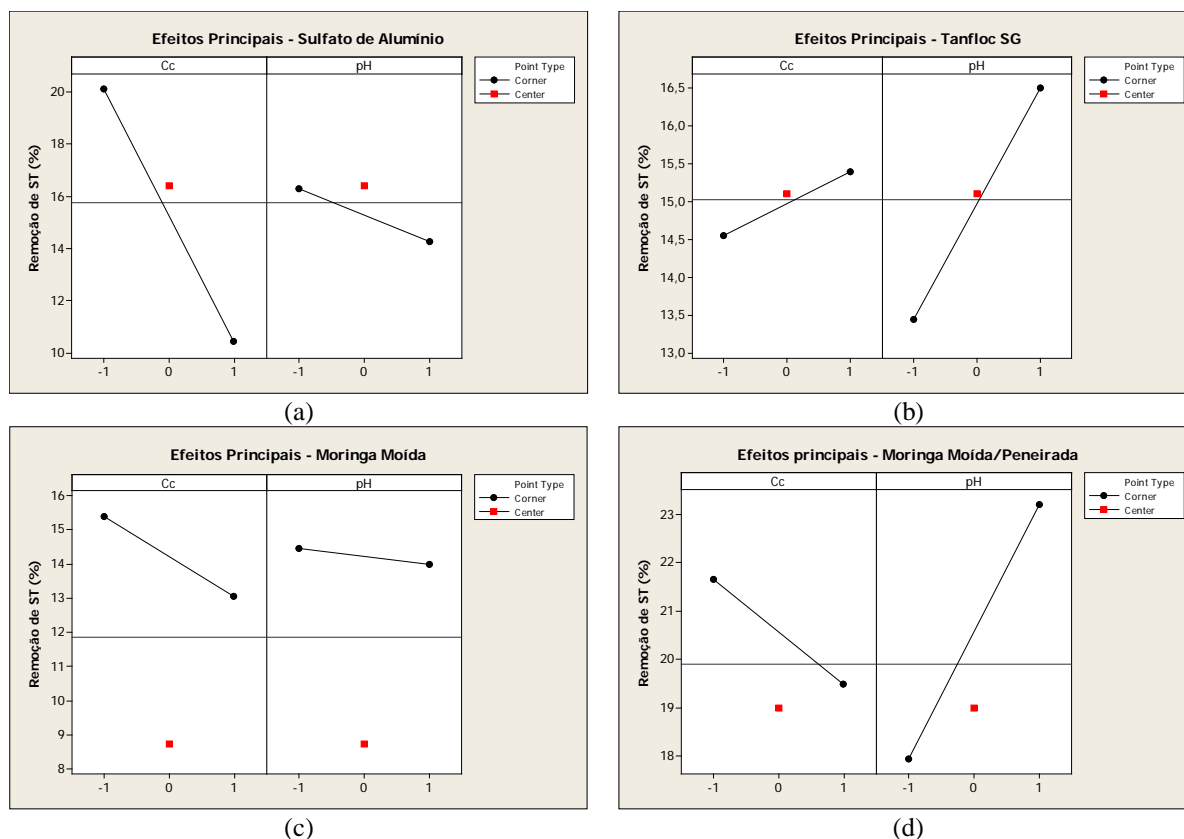


Figura 1 - Efeitos principais obtidos no Planejamento Fatorial 2^2 para os diferentes coagulantes: a) Sulfato de alumínio; b) Tanfloc SG; c) *Moringa oleífera Lam* moída; d) *Moringa oleífera Lam* moída e peneirada.

De acordo com os resultados, o sulfato de alumínio apresentou uma remoção de ST máxima em torno de 22,4% (Figura 7.15 - a). Ao contrário do esperado, a eficiência deste coagulante convencional não foi a melhor obtida. Esse fato pode estar associado à característica granulométrica do lodo (muito pequena), o que torna necessária a adição de um floculante para aumentar a eficiência do processo. Nesse ensaio percebeu-se ainda um maior efeito da C_c sobre a variável resposta. Como pode ser notado, a maior eficiência de remoção de ST ocorre para concentrações de coagulante mais baixas, ou seja, no nível inferior dos fatores operacionais (-1). Entende-se que a faixa de dosagem de coagulante entre 500 a 3.500 mg L⁻¹, sugerida pela literatura, situava-se acima da demanda para esta aplicação.

Com relação à coagulação através de sementes da *Moringa oleífera Lam*, foram testados dois cenários: 1. utilizando-se essas sementes logo após serem moídas; 2. utilizando-as moídas e peneiradas (em pó). Os resultados de remoção de ST foram avaliados em ambos os cenários. Os resultados mostraram que a remoção de ST quando utilizadas sementes em pó (moídas e peneiradas) foi superior quando utilizada a semente apenas moída. Esse fato pode ser explicado pela maior área superficial das sementes em pó, o que potencializa as reações de neutralização de carga que ocorrem na coagulação e consequente formação de flocos.

Os resultados mostraram que as sementes de *Moringa oleífera* moída e peneirada apresentaram uma remoção de ST máxima em torno de 23,7% (Figura 7.15 - d), superior a utilização dessas sementes apenas moída (16,6%). Os resultados de remoção foram muito próximos aos atingidos pelo sulfato de alumínio, o que torna esse agente coagulante atrativo pelo fato de apresentar eficiência compatível com um coagulante comercial e ser um material natural. Os resultados mostraram que para a utilização das sementes moídas e peneiradas foram fortemente influenciados pelo pH do meio (maior em pH mais alto, em torno de 9), o que mostra que este coagulante tem a sua solubilidade aumentada em meio ácido.

Observou-se que, com a utilização do Tanfloc, houve uma remoção inferior àquela promovida pelas sementes de *Moringa oleífera* moída e peneirada (16,8%). A eficiência desse coagulante também foi mais afetada pelo

pH do meio, indicando sua solubilidade em pH inferiores a 5. Notou-se ainda que para altas dosagens de Tanfloc uma coloração do líquido reacional azulada, cor essa igual ao do produto coagulante utilizado. De acordo com o fornecedor deste insumo, esse processo ocorre quando há adição em excesso do polímero, evidenciando que toda a carga presente já fora neutralizada, não havendo mais ligações do produto a ser estabelecida e assim, consequentemente, o produto permanece em excesso no meio.

Em todos os casos observou-se a formação de flocos finos, pouco densos, não suscetíveis à sedimentação. Ressalta-se que quanto menos denso o lodo formado, menor o seu grau de sedimentabilidade e mais difícil a sua separação. Este fato reforça a necessidade de separação deste lodo por técnicas alternativas à sedimentação. Por fim, quanto ao aspecto, para todos os coagulantes testados observou-se uma coloração parda amarelada do líquido reacional, o que indica a presença do ferro residual do POA.

Devido a maior remoção de ST, as sementes de *Moringa oleífera* Lam moída e peneirada foram apontadas como a de maior potencial para esta aplicação específica, ou seja, para serem empregadas na coagulação prévia ao desaguamento do lixiviado pós-POA em geotêxtil.

Otimização da coagulação do líquido reacional pós-POA

Com o objetivo de determinação dos valores críticos (que permitam a eficiência máxima de remoção de ST) dos fatores operacionais da coagulação empregando *Moringa oleífera* Lam moída e peneirada, o modelo foi otimizado empregando delineamento composto central rotacional 2². A Tabela 2 apresenta os níveis codificados de variação e os valores reais de cada fator envolvido no processo, bem como as respostas analíticas obtidas no DCCR 2².

Tabela 2 - Condição dos fatores e valores das respostas escolhidas do DCCR 2² empregado nos ensaios de coagulação empregando *Moringa oleífera* Lam moídas e peneiradas.

Ensaio	Fatores operacionais		Remoção de ST (%)	Ensaio	Fatores operacionais		Remoção de ST (%)
	C _c (mg L ⁻¹)	pH			C _c (mg L ⁻¹)	pH	
1	-1 (500)	-1 (5)	19.6	7	0 (2.000)	-1.41421	17.2
2	+1 (3.500)	-1 (5)	16.3	8	0 (2.000)	+1.41421	21.9
3	-1 (500)	+1 (9)	23.7	9	0 (2.000)	0 (7)	18.0
4	+1 (3.500)	+1 (9)	22.7	10	0 (2.000)	0 (7)	18.0
5	-1.41421	0 (7)	20.2	11	0 (2.000)	0 (7)	18.0
6	+1.41421	0 (7)	18.2	12	0 (2.000)	0 (7)	18.0

A Figura 2 retrata os resultados obtidos nos ensaios de otimização das condições operacionais do coagulante selecionado (*Moringa oleífera* Lam moída e peneirada).

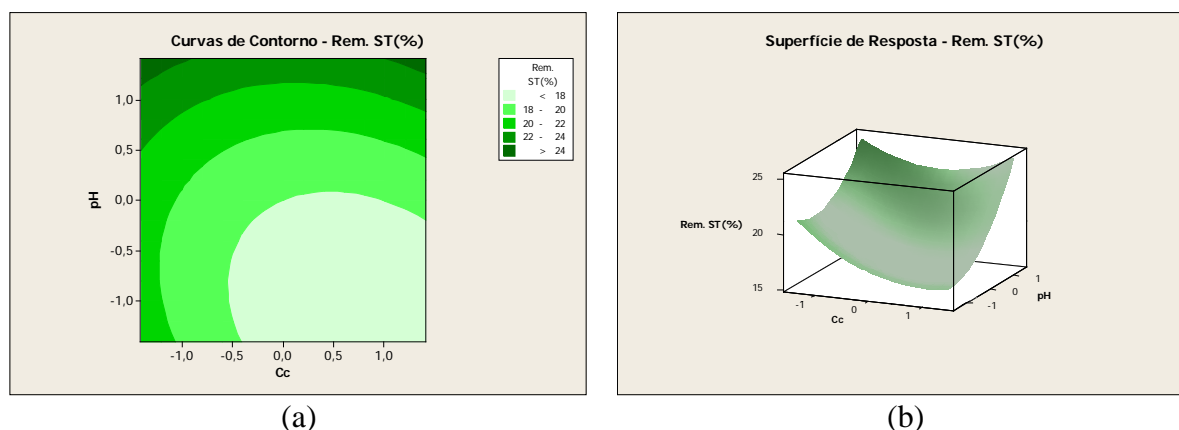


Figura 2 - (a) Superfície de resposta e (b) Curvas de contorno para eficiência de remoção de ST em função das concentrações do coagulante (Cc) e pH na fase de otimização do coagulante selecionado.

Com base nos efeitos significativos do modelo foi possível determinar um modelo matemático polinomial de segunda ordem para a remoção de ST.

$$Y(X) = 18,0000 - 0,8911X_1 + 2,1434X_2 + 0,90000X_1^2 + 1,0750X_2^2 \quad (3)$$

Onde: $Y(X)$ = Remoção de ST (%); X_1 = Concentração de coagulante (mg L^{-1}) e X_2 = pH do líquido reacional.

De acordo com o coeficiente de explicação do modelo ajustado R^2 , a função polinomial acima explica 84,6% da variação total das respostas, indicando ajuste satisfatório ($> 75\%$). A identificação das coordenadas do ponto crítico da superfície de resposta obtida foi realizada pela resolução de um sistema com duas equações lineares e duas incógnitas, decorrentes da aplicação das seguintes derivadas às equações obtidas para as superfícies:

$$\frac{\partial Y(X)}{\partial X_1} = -0,8911 + 1,8000X_1 \quad (4)$$

$$\frac{\partial Y(X)}{\partial X_2} = 2,1434 + 2,1500X_2 \quad (5)$$

Fazendo com que $\frac{\partial Y(X)}{\partial X_1} = 0$ e $\frac{\partial Y(X)}{\partial X_2} = 0$, temos como solução do sistema: $C_c = 0,4951 \text{ mg L}^{-1}$ e $\text{pH} = -0,9946$ (valores codificados) ou $C_c = 2,743 \text{ mg L}^{-1}$ e $\text{pH} = 5,01 \sim 5,0$ (valores decodificados).

Investigação do desaguamento de lodo pós-POA através de bolsa de geotêxtil

Nesta etapa foi investigado o impacto no desaguamento com a adição de diferentes concentrações de polímero floculante. A Figura 3 mostra os diferentes aspectos de clarificação do drenado do geotêxtil após o ensaio do Teste do Cone para diferentes intervalos de tempo.



Figura 3 - Aspecto de clarificação do drenado do geotêxtil após o ensaio do Teste do Cone nos intervalos de: 1) 0; 2) 0 a 5; 3) 5 a 10; 4) 10 a 20; 5) 20 a 30; 6) 30 a 45 e 7) 45 a 60 minutos.

Observou-se que medida que a concentração de floculante adicionada aumentava ($0, 2, 3, 5, 6, 8$ e 10 mg L^{-1}), havia a formação de flocos mais densos e consequentemente mais pesados, o que diminuía o tempo de sedimentação. Ao contrário do esperado, somente para a concentração de 10 mg L^{-1} de floculante pode-se observar a retenção eficiente dos sólidos no geotêxtil. Para as concentrações $0, 2, 3$ e 6 mg L^{-1} todo o lodo adicionado ao cone percolou o geotêxtil e fora drenado logo no primeiro intervalo de tempo analisado (0 a 5 minutos). Para esses casos, observou-se que o geotêxtil não ofereceu nenhuma resistência à filtração, ou seja, o lodo percolou pelo geotêxtil sem nenhuma retenção de partículas, justamente pela formação ineficiente da torta (*filter cake*). Para a concentração de 8 mg L^{-1} houve uma pequena retenção dos sólidos, sendo o restante do lodo drenado no intervalo de 0 a 10 minutos. Já para a concentração de 10 mg L^{-1} , o tempo de desaguamento do lodo no cone foi de aproximadamente 1 hora. Durante o Teste do Cone observou-se que a medida que o tempo aumentava, obtinha-se clarificados de melhor qualidade (Figura 7.19) o que comprova a eficácia de

filtração do geotêxtil. Essa tendência se dá principalmente devido ao efeito de colmatação do geotêxtil gerando drenados cada vez mais clarificados. A retenção dos sólidos pelo geotêxtil pôde ser comprovada pela formação da torta de lodo adensado (Figura 4). Neste processo, houve um aumento no teor de sólidos de 3,6% (lodo inserido) para 31,6% (torta formada).



Figura 4 - Aspecto do retido no Teste do Cone realizado com a adição de floculante a 10 mg L^{-1} após o tempo de: a) 0 a 5 min; b) 45 a 60 min (torta formada).

A Figura 5 mostra os resultados obtidos no ensaio do Teste do Cone realizado para a avaliação d deságue do lodo pós-POA.

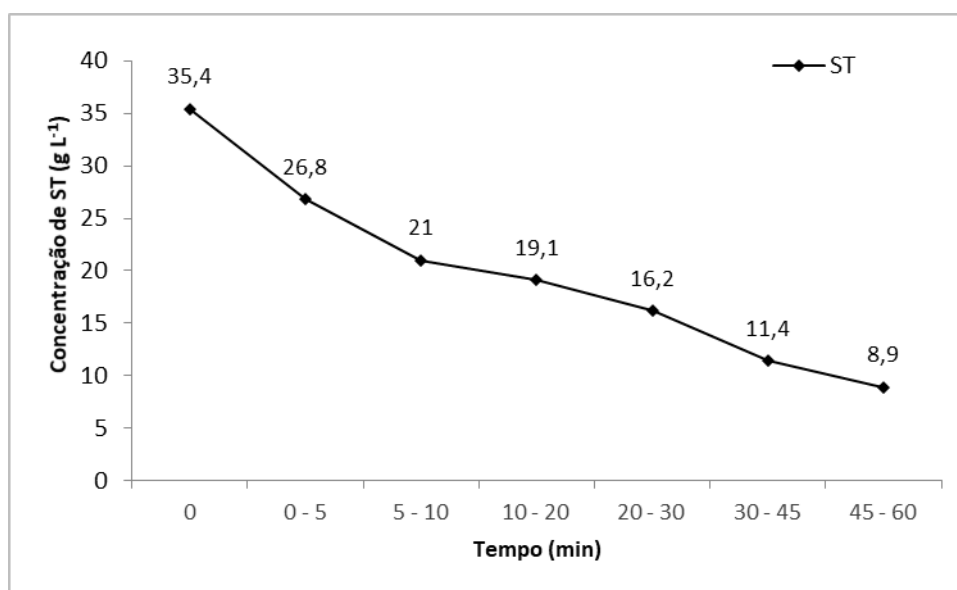


Figura 5 - Concentrações de ST durante o ensaio do Teste do Cone.

Observou-se uma remoção sólidos crescente em função do tempo, sendo em média de 20% de remoção de ST a cada 10 min de ensaio. Conforme esperado, a remoção de ST foi progressiva ao longo do teste em função da formação continua de torta. Percebeu-se uma maior seletividade do geotêxtil a medida que a torta era formada. Em relação à eficiência de remoção de ST, pode-se observar uma remoção total final de 75% pelo geotêxtil. A eficiência de desaguamento também foi calculada, sendo de 48%.

CONCLUSÕES

Com relação ao desaguamento do lodo, foi verificado que na coagulação/floculação prévia ao geotêxtil, as variáveis pH e concentração de coagulantes foram significativas no processo. Porém, nesta aplicação, a utilização de coagulantes não foi necessária para aumentar a eficiência de remoção de ST do líquido reacional POA devido aos íons de ferro residuais presentes no efluente. Somente o ajuste do pH para 9, mantendo as condições de mistura se mostrou suficiente para a remoção de ST através do geotêxtil. Esse fato é positivo já que preza a viabilidade econômica do processo. Apesar de não ser interessante a utilização de coagulantes, a aplicação de polímeros floculantes anterior a fase de deságue em geotêxtil é recomendada devido a característica do lodo formado (flocoso). Para tanto, concentrações em torno de 10 mg L⁻¹ foram necessárias. Para esta concentração, a técnica bolsa de geotêxtil obteve eficiência de remoção de ST de aproximadamente 75% e eficiência de desaguamento de 48% no lodo gerado pós-POA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
2. BANDALA, E. R.; ARANCIBIA-BULNES, C. A.; OROZCO, S. L.; ESTRADA, C. Solar photoreactors comparison based on oxalic acid photocatalytic degradation. Solar Energy. v.77, p.503-512, 2004.
3. CASTRO, N. P. B. Sistemas Tubulares para Contenção de Lodo e Sedimentos Contaminados. São José dos Campos, 2005. Dissertação de mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005.
4. GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods. Advances in Environment Research, v.8, p.553-597, 2004.
5. GOMES L. P.; CANTANHEDE, A. L. G.; AMORIM, A. K. B; CASTILHOS JR., A. B.; FERNANDES, F.; FERREIRA, J. A.; JUCÁ, J. F. T., LANGE, L. C.; LEITE, V. D. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. IN: GOMES L.P. (ORG.) RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ATERRO SUSTENTÁVEL PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE. Brasil, Rio de Janeiro: Rima ABES, 360p. 2009.
6. MARTINS, P. M.; VIDAL, D. M. Tubos Geotêxteis para acondicionamento e desaguamento de rejeito de mineração. In: XVII ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA. São José dos Campos, p.9, 2006.
7. MORAVIA, W. G. Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas. Belo Horizonte, 2010. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
8. PILARCZYK, K. W. Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering. ISBN – 9058093026, Balkema, 2000.