

III-337 - DESAGUAMENTO DE LODO PRODUZIDO NO PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO EM LEITO DE DRENAGEM COM MANTA GEOTÊXTIL

Anelise Passerine de Castro⁽¹⁾

Engenheira Ambiental, Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Nayara Donelli Pelisson.

Graduanda em engenharia civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Renan Vilani de Camargo.

Graduando em engenharia civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Sandra Márcia Cesário Pereira da Silva.

Engenheira civil, doutora em saneamento, docente da UEL.

Endereço⁽¹⁾: Rua Paranaguá, 425 - Apto 31, Londrina - PR CEP 86020-030 – Brasil – e-mail: anelisepasserine@gmail.com

RESUMO

Uma das formas de pós-tratamento do lixiviado baseia-se no processo de coagulação-floculação-sedimentação (tratamento físico-químico), precedido pelo tratamento biológico por lodo ativado em batelada sequencial. O processo em questão é um sistema não destrutivo, ou seja, transfere os poluentes da fase líquida para a sólida, havendo a necessidade de se definir alternativas de tratamento e disposição do mesmo. O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar a drenabilidade do lodo resultante do pós- tratamento mencionado, sob a consideração de aspectos técnicos, para o estabelecimento de parâmetros de projeto, como área superficial de contato, características técnicas de mantas geotêxteis e taxa de aplicação de sólidos (TAS). Para tanto, foram utilizados protótipos em escala reduzida, remetendo a um leito de desaguamento real, por meio da utilização de tubos de PVC DN 50, 75 e 100mm, vinculados com mantas geotêxteis de 150, 300 e 600 g/cm² e TAS de 2,5; 5,0 e 7,5 Kg/m². Utilizou-se o planejamento fatorial 2³. Estatisticamente, as melhores condições operacionais foram obtidas com o tubo de DN 100 mm, associado a uma manta de 300 g/cm² e TAS de 7,5 Kg/m².

PALAVRAS-CHAVE: Desaguamento de lodo, Lixiviado, Manta geotêxtil.

INTRODUÇÃO

O lixiviado proveniente de aterros antigos, em atividade metanogênica, contém altas concentrações de compostos orgânicos de difícil degradação (substâncias húmicas e fúlvicas) além de nitrogênio amoniacal, com possibilidade de apresentar substâncias tóxicas, conferindo-lhe alto potencial de contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas (REINHART & AL-YOUSFI, 1996).

No entanto, sua composição dificulta a aplicação somente de processos biológicos, sendo necessários outros complementares. Por tal motivo, a associação de tratamentos biológicos, para diminuir o efeito das elevadas concentrações de N-amoniacal, deve ser acompanhada de etapas de pós-tratamento físico-químico, tais como coagulação, floculação e sedimentação (FELICI, 2010; CASTRO, 2012) que atuam na remoção de compostos recalcitrantes do meio líquido, visando principalmente à redução de DQO e cor.

Embora alcance índices de remoção de matéria orgânica recalcitrante a níveis satisfatórios, este tipo de tratamento físico-químico gera um lodo resultante que apresenta materiais orgânicos e inorgânicos, incluindo os resultantes da aplicação de produtos químicos no tratamento. Deste modo, por constituir-se num resíduo sólido, é necessário submetê-lo a sistema de tratamento de acordo com suas características e dispô-lo em conformidade com legislação vigente.

Atualmente uma das alternativas utilizadas para tratamento de lodos originados nos decantadores de Estações de Tratamento de Água é a aplicação de mantas geotêxteis para a redução do volume. Neste íterim, é

importante verificar se esta alternativa também pode ser empregada para o lodo gerado após o processo de coagulação, floculação e sedimentação do lixiviado, pois é uma opção particularmente favorável para o Brasil, devido às condições climáticas e disponibilidade de área.

Portanto, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a drenabilidade do lodo produzido no tratamento por coagulação, floculação e sedimentação de lixiviado de aterros em fase metanogênica, previamente tratado por processo biológico quanto aos aspectos técnicos, para o estabelecimento de parâmetros de projeto, como área superficial de contato, características técnicas de mantas geotêxteis e taxa de aplicação de sólidos (TAS).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido nas seguintes etapas: i) caracterização do lixiviado previamente tratado; ii) Planejamento experimental; iii) Avaliação do sistema de drenagem de lodo em escala reduzida; iv) Avaliação da influência da adição de polieletrólito catiônico na redução do tempo de drenagem e qualidade do efluente drenado;

i) Caracterização do lodo do lixiviado

O lodo do lixiviado utilizado provinha de um tratamento físico-químico (processo de coagulação-floculação-sedimentação) precedido por tratamento biológico por lodo ativado em batelada em escala piloto e stripping de amônia.

Para a etapa físico-química etapa foi empregado o equipamento Jarteste, utilizando-se o cloreto férrico como coagulante e o polieletrólito catiônico (C8392- carga 10%). Os ensaios em reatores estáticos objetivaram simular em escala de laboratório as condições de coagulação, floculação e sedimentação para posterior aplicação em escala real. Foram empregadas técnicas estatísticas de planejamento experimental através do delineamento central rotacional (DCCR) 2³, as quais permitiram definir as dosagens ótimas de 300 mg Fe⁺³/L e 3,0 mg/L de polieletrólito em pH 4,0.

Finalizado este sistema de tratamento, o lodo que ficou sedimentado no fundo dos jarros foi coletado e armazenado em galões plásticos, para em seguida determinar a concentração de sólidos totais para estabelecimento da taxa de aplicação superficial no leito de drenagem. Para tanto, o efluente final foi caracterizado de acordo com os métodos mencionados na tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros investigados e metodologia utilizada durante a caracterização do lodo do lixiviado tratado por coagulação-floculação-sedimentação precedido por tratamento biológico por lodo ativado em batelada em escala piloto e stripping de amônia.

| Parâmetro | Método |
|-------------------|--|
| Cor aparente (uH) | Método espectrofotômetro – 405 nm |
| Turbidez (uT) | <i>Standard Methods</i> (APHA, AWWA, WEF, 2005) 2130 B - Método nefelométrico |
| DQO | <i>Standard Methods</i> (APHA, AWWA, WEF, 2005) 5220 C - Método do refluxo fechado |
| Sólidos Totais | <i>Standard Methods</i> (APHA, AWWA, WEF, 2005) 2540 B - Sólidos Totais secos a 103-105°C |

ii) Planejamento experimental para desaguamento do lodo

A fim de avaliar a drenabilidade do lodo produzido pelo sistema de tratamento por tratamento físico químico acima descrito, os experimentos de desaguamento do lodo foram delineados através de planejamento experimental 2³, com duas repetições no ponto central.

O delineamento do mesmo pode ser visualizado na Tabela 2. Foram empregados como variáveis independentes a densidade da manta geotêxtil, o diâmetro do tubo e a taxa de aplicação superficial. Estas variáveis foram adotadas de acordo com resultados apontados por Macedo (2010) e Lima (2010), cujos testes realizados com lodo de ETA apontaram a influência das mesmas sobre a qualidade do drenado obtido.

Tabela 2: Delineamento dos experimentos realizados para desaguamento do lodo, utilizando como variáveis independentes a densidade da manta geotêxtil, o diâmetro do tubo e a taxa de aplicação superficial.

| Ensaio | Variáveis não codificadas | | | Variáveis codificadas | | |
|--------|---------------------------|---------------|------|-----------------------|----------|----------|
| | Manta | Diâmetro (mm) | Taxa | Manta | Diâmetro | Taxa |
| 1 | 150 | 50 | 2,5 | -1,00000 | -1,00000 | -1,00000 |
| 2 | 150 | 50 | 7,5 | -1,00000 | -1,00000 | +1,00000 |
| 3 | 150 | 100 | 2,5 | -1,00000 | 1,00000 | -1,00000 |
| 4 | 150 | 100 | 7,5 | -1,00000 | 1,00000 | +1,00000 |
| 5 | 300 | 50 | 2,5 | +1,00000 | -1,00000 | -1,00000 |
| 6 | 300 | 50 | 7,5 | 1,00000 | -1,00000 | 1,00000 |
| 7 | 300 | 100 | 2,5 | +1,00000 | 1,00000 | -1,00000 |
| 8 | 300 | 100 | 7,5 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 |
| 9 | 600 | 75 | 5,0 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 10 | 600 | 75 | 5,0 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |

Os resultados obtidos foram tratados pelo Software Statistica 8.0, o qual permitiu a obtenção de modelos matemáticos que ajudam na compreensão do tratamento adotado e das variáveis que influenciam na obtenção de drenados com maior ou menor qualidade.

iii) Avaliação do sistema de drenagem de lodo em escala reduzida

A unidade de desaguamento foi constituída por tubos de PVC de DN 50, 75 e 100mm, totalizando a quantidade de dez tubos, como mostrada na Figura 01.



Figura 01 – Vista geral da unidade de desaguamento utilizada nos experimentos.

O carregamento consistiu no deságue de todo o volume calculado para cada protótipo, respeitando a altura de lâmina de lodo, determinada em função dos diâmetros dos tubos e TAS. O tempo para extinção da lâmina líquida foi cronometrado. As amostras do drenado eram coletadas aleatoriamente até o começo da sua clarificação (observada visualmente), estabelecendo-se um volume de coleta para as amostras posteriores. As

amostras submetidas a análises de DQO, cor verdadeira, cor aparente e turbidez, foram compostas a partir do total do volume desaguado, após a colmatação das mantas. O volume desaguado antes da colmatação da manta, em que havia muita perda de sólidos, foi retornado ao sistema de deságue, para a avaliação da possibilidade de recuperação de todo volume submetido a deságue.

Para monitoramento foram coletadas amostras dos volumes drenados para análises de turbidez, cor aparente, cor verdadeira e DQO, de acordo com os métodos da tabela 1.

iv) Avaliação da influência da adição de polieletrólito catiônico ao lodo na redução do tempo de drenagem e qualidade do efluente drenado.

A fim de verificar a possibilidade de reduzir o tempo de drenagem, foram realizados testes para analisar a influência da adição de polieletrólito catiônico (C8392 - carga 10%) no lodo proveniente do sistema de tratamento de lixiviado. Foi empregada uma dosagem de 5 mg/L de polímero e protótipos de diâmetro de 75 mm e TAS de 7,5 kg/m². A escolha deste protótipo para a adição do polieletrólito foi definida verificando-se os melhores resultados obtidos entre os avaliados sem a adição do mesmo e pela limitação de volume de material disponível para drenar. Devido aos resultados obtidos na etapa anterior, somente as mantas de densidade de 300 e 600 g/m² foram utilizadas.

A fim de monitorar a eficiência das mantas geotêxteis em relação à adição de polieletrólito no lodo drenado foram realizadas análises de turbidez e DQO do volume drenado.

RESULTADOS

i) Caracterização do lixiviado

As características físicas e químicas do lodo bruto de estudo utilizado nos protótipos de desaguamento são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Características do lodo utilizado na unidade de desaguamento em escala reduzida.

| Parâmetro | Valores |
|---------------------------|----------------|
| Cor aparente (uH) | 38 000,00 |
| Turbidez (uT) | 3553,33 |
| DQO (mgO ₂ /L) | 15182,80 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 18108 |

ii) Resultado da avaliação do sistema de drenagem de lodo em escala reduzida com mantas geotêxtil

A partir do planejamento fatorial 2³ desenvolvido, foi possível monitorar os parâmetros DQO, turbidez, cor aparente e cor verdadeira (variáveis dependentes) a fim de verificar-se a eficiência das condições dos desaguamentos realizados. Os resultados dos 10 experimentos são apresentados na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4. Resultados das variáveis dependentes obtidos pelos ensaios de desaguamento do lodo.

| Ensaio | Variáveis independentes | | | Variáveis dependentes | | | |
|--------|-------------------------|---------------|------|-----------------------|---------------------|---------------------------|---------------|
| | Manta | Diâmetro (mm) | Taxa | Cor aparente (UC) | Cor verdadeira (UC) | DQO (mgO ₂ /L) | Turbidez (uT) |
| 1 | 150 | 50 | 2,5 | 122 | 196 | 493 | 3,33 |
| 2 | 150 | 50 | 7,5 | 116 | 99 | 396 | 4,28 |
| 3 | 150 | 100 | 2,5 | 157 | 91 | 545 | 9,23 |
| 4 | 150 | 100 | 7,5 | 159 | 88 | 342 | 7,40 |
| 5 | 300 | 50 | 2,5 | 171 | 146 | 571 | 6,91 |
| 6 | 300 | 50 | 7,5 | 208 | 102 | 526 | 12,80 |
| 7 | 300 | 100 | 2,5 | 136 | 90 | 300 | 5,83 |
| 8 | 300 | 100 | 7,5 | 152 | 91 | 557 | 6,74 |
| 9 | 600 | 75 | 5,0 | 270 | 104 | 493 | 14,57 |
| 10 | 600 | 75 | 5,0 | 92 | 79 | 408 | 1,79 |

Para cada uma das variáveis dependentes também foram obtidas equações que apresentam um modelo matemático no qual são apresentados os efeitos das variáveis independentes. Abaixo, são apresentadas as equações respectivas.

$$y \text{ (DQO)} = 466,69 + 22,46 \text{ (Espessura da Manta)} - 30,07 \text{ (Diâmetro)} - 11,06 \text{ (TAS)} - 29,72 \text{ (Espessura da Manta X Diâmetro)} + 63,94 \text{ (Espessura da Manta X TAS)} + 24,53 \text{ (Diâmetro X TAS)} + 51,15 \text{ (Espessura da Manta X Diâmetro X TAS)}$$

Equação 1
 $R^2 = 0,96$

$$y \text{ (Turbidez)} = 7,06 + 1,01 \text{ (Espessura da Manta)} + 0,24 \text{ (Diâmetro)} + 0,74 \text{ (TAS)} - 2,02 \text{ (Espessura da Manta X Diâmetro)} + 0,96 \text{ (Espessura da Manta X TAS)} - 0,97 \text{ (Diâmetro X TAS)} - 0,27 \text{ (Espessura da Manta X Diâmetro X TAS)}$$

Equação 2
 $R^2 = 0,43$

$$y \text{ (Cor aparente)} = 152,63 + 14,13 \text{ (Espessura da Manta)} - 1,63 \text{ (Diâmetro)} + 6,13 \text{ (TAS)} - 21,13 \text{ (Espessura da Manta X Diâmetro)} + 7,13 \text{ (Espessura da Manta X TAS)} - 1,63 \text{ (Diâmetro X TAS)} - 3,63 \text{ (Espessura da Manta X Diâmetro X TAS)}$$

Equação 3
 $R^2 = 0,31$

$$y \text{ (Cor verdadeira)} = 112,88 - 5,63 \text{ (Espessura da Manta)} - 22,87 \text{ (Diâmetro)} - 17,87 \text{ (TAS)} + 6,13 \text{ (Espessura da Manta X Diâmetro)} + 7,13 \text{ (Espessura da Manta X TAS)} + 17,37 \text{ (Diâmetro X TAS)} - 6,13 \text{ (Espessura da Manta X Diâmetro X TAS)}$$

Equação 4
 $R^2 = 0,97$

Através dos resultados dos ensaios, verificou-se que não houve diferença estatisticamente significativa em relação às variáveis independentes turbidez e cor aparente. Por tal motivo, a escolha das melhores condições dos ensaios pautou-se nos parâmetros DQO e cor verdadeira.

A partir das equações acima apresentadas, é possível constatar que a análise estatística, respaldada pelo planejamento fatorial 2³, permitiu concluir que o tubo de DN 100 mm, associado à manta de 300 g/cm² e TAS de 7,5 Kg/m², garantiu a maior eficiência de redução de DQO e cor verdadeira, propiciando a obtenção do líquido drenado com, respectivamente, 342,3 mg O₂/L e 88 Pt-Co.

Para a melhor condição operacional o tempo de extinção da lâmina líquida foi de três dias (72 H) em média.

iii) Resultado da avaliação da influência da adição de polieletrólito catiônico ao lodo na redução do tempo de drenagem e qualidade do efluente drenado.

Com o intuito de otimizar o tempo para drenagem, foram realizados dois ensaios com adição de polieletrólito e um terceiro sem adição do polímero somente para fins de comparação. Na Tabela 5 são apresentadas as características físicas e químicas do efluente drenado e dos protótipos. O diâmetro dos tubos utilizado foi de 75 mm.

Tabela 5 – Comparação das características do efluente drenado nos protótipos com e sem adição de polieletrólito ao lodo.

| Características do Protótipo | | | Polieletrólito | Tempo de drenagem (min) | Parâmetros | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|---------------|----------------------|---------------------------|
| Manta (g/m ²) | TAS (kg/m ²) | Volume lodo drenado (mL) | | | Turbidez (uT) | Cor Aparente (455nm) | DQO (mgO ₂ /L) |
| 600 | 5,0 | 1050 | Sem polieletrólito | 5869,43 | 1,33 | 80 | 385,1 |
| 300 | 7,5 | 2480 | Catiônico 5,0 mg/L | 46,83 | 1,07 | 85 | 365,8 |
| 600 | 7,5 | 2480 | Catiônico 5,0 mg/L | 40,00 | 0,89 | 80 | 396,2 |

Através dos resultados apresentados acima, é indiscutível a eficiência do polieletrólito no desaguamento do lodo, pois sua adição proporcionou drenagem aproximadamente 130 vezes mais rápida. Apesar das diferenças na redução de turbidez serem pequenas e não haver nenhuma melhoria na remoção de cor aparente, é importante frisar que os resultados apresentados para o ensaio sem utilização de polieletrólito são para as amostras coletadas após mais de 97 horas de ensaio; ou seja, coletas inferiores a este tempo conduzem a amostras com grandes valores de turbidez e cor aparente.

Com relação a DQO também verifica-se a que os dados permaneceram inalterados, porém este resultado já era esperado, pois o tratamento ora empregado não visava a remoção de compostos orgânicos, mas tão somente a redução do volume do lodo formado pelo processo de tratamento físico-químico ora testado e a verificação da eficiência do emprego do polieletrólito catiônico na otimização do tempo de drenagem.

Após esta etapa, verificou-se que o lodo seca rapidamente e que em 17 dias houve redução da umidade para 0,5%.

CONCLUSÕES

O sistema composto pelo tubo de DN 100 mm, manta de 150 g/cm² e TAS de 7,5 Kg/m² foi o que propiciou a obtenção do líquido drenado com 342,3 mg O₂/L e 88 Pt-Co, sendo a melhor condição obtida.

Não houve diferença entre todas as configurações utilizadas quanto a remoção de turbidez e cor aparente.

A adição de polieletrólito ao lodo proporcionou valores de turbidez aproximadamente 30% menores e tempo de desaguamento 130 vezes menor que o isento de polieletrólito.

Não houve diferença significativa nas características do efluente drenado quanto à redução de cor, turbidez e DQO entre as mantas geotêxteis de 300 e 600 g/m² com adição de polieletrólito.

Portanto, o leito de drenagem com manta geotêxtil se mostra como uma boa alternativa para a drenagem do lodo produzido no processo de pós-tratamento de lixiviado. E a adição de polieletrólito, pode ser uma medida

imediate ou para ampliar a capacidade do sistema de drenagem, sem ter que aumentar as características físicas dos leitos de drenagem. Por questões econômicas sugere-se o uso da manta geotêxtil de 300 g/m².

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WPCF - Water Pollution Control Federation. Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington, 2005.
2. CASTRO, A. P. Influência da adição de polieletrólito no processo de floculação como pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário visando a remoção de carga orgânica recalcitrante. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Londrina, 2012.
3. FELICI, E. M. Coagulação-floculação-sedimentação como pós-tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Londrina, 2010.
4. LIMA, M. S. P. Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas – ETAs por leito de drenagem com manta geotêxteis em escala reduzida. (TCC – Universidade Estadual de Londrina), 2010.
5. MACEDO, J. G. Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas – ETAs por leito de drenagem com manta geotêxteis- escalas piloto e reduzida. (TCC – Universidade Estadual de Londrina), 2010.
6. REINHART, D.R., AL-YOUSFI, A.B. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics, Waste Manage, v.14, p.337–346, 1996.