

III-504 - DESAGUAMENTO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS – ETAS POR LEITO DE DRENAGEM COM MANTAS GEOTÊXTEIS – ESCALA REDUZIDA

Cristiane Silveira

Tecnóloga em Gerenciamento Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento na Universidade Estadual de Londrina - UEL.

Mauro Sérgio Pinheiro Lima

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL.

José Gustavo Macedo

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL.

Sandra Márcia Cesário Pereira da Silva

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP. Doutora em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP.

Emília Kiyomi Kuroda⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela mesma instituição. Pós-doutora pela Meijo University Japão. Professora do Depto de Construção Civil - CTU da UEL.

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Celso Garcia Cid; Pr 445; Km 380; CEP: 86055-900, Londrina – Paraná - Brasil - Tel: (43) 3371-4815 - e-mail: ekkuroda@uel.br

RESUMO

Para transformar água bruta em água potável, as Estações de Tratamento de Água – ETAs de ciclo completo utilizam os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, e como em qualquer indústria geram resíduos, dentre os quais, destacam-se os lodos acumulados nos decantadores. Os lodos de ETAs devem ser tratados antes de descartados nos corpos hídricos. Dentre as técnicas utilizadas, os leitos de drenagem com uso de manta geotêxtil têm apresentado resultados promissores no processo de desaguamento de lodo de ETA no Brasil. Nesse contexto, esse estudo teve como objetivo avaliar o sistema de desaguamento de lodo de decantadores de ETAs em leito de drenagem com uso de manta geotêxtil por meio de ensaios de laboratório em protótipo de escala reduzida, considerando como aspectos técnicos de projeto a taxa de aplicação de sólidos - TAS, tipo de manta geotêxtil (150, 300 e 600 g.m⁻²), lâmina líquida na unidade de drenagem e duração das fases de drenagem e de secagem. Para avaliar a eficiência do desaguamento fez-se a caracterização do lodo afluente ao sistema de desaguamento e o monitoramento da qualidade do drenado produzido. Pôde-se observar que a qualidade do drenado é melhorada com o aumento da densidade da manta geotêxtil, e que para cada densidade de manta, há um valor mínimo de TAS associado a partir do qual há uma melhoria na qualidade do drenado. Os melhores resultados foram obtidos usando a manta de 600 g.m⁻² e TAS de 5,0 kg.m⁻². A eficiência desse tratamento aplicado ao lodo de decantadores foi comprovada em relação à qualidade do drenado produzido considerando os parâmetros estabelecidos pelos órgãos ambientais visando à proteção dos corpos hídricos receptores ou ainda pelas ETAs devido à possibilidade de reaproveitamento do drenado para produção de água tratada.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, lodo, desaguamento de lodo, leito de drenagem / secagem.

INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água – ETAs tem como responsabilidade produzir e distribuir água potável para a população de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Para transformar a água bruta em água potável, as ETAs de ciclo completo utilizam os processos de coagulação, floculação, decantação e filtração, o que requer a aplicação de produtos químicos que auxiliam na

remoção das impurezas presentes na água bruta. Como consequência do tratamento da água, tem-se a geração de resíduos, com destaque os lodos acumulados nos decantadores.

Ressalta-se que os lodos de decantadores apresentam a maior parcela em termos de volume na fase líquida, contudo a NBR 10.004 (2004) classifica-os como resíduos sólidos, não sendo permitido seu lançamento *in natura* em águas superficiais. Segundo Achon *et al* (2005) esses resíduos normalmente possuem concentrações de sólidos maior que 2,5%, podendo provocar alterações consideráveis nessas águas.

A remoção da água livre e intersticial presente no lodo reduz seu volume, facilitando o manuseio, transporte e disposição final deste resíduo (LOPES, *et al*, 2005). Dentre as técnicas tradicionalmente utilizadas, os Sistemas Naturais (lagoas de lodo e os leitos de drenagem / secagem) têm apresentado vantagens em relação aos Sistemas Mecânicos (centrífugas, filtros-prensa, prensa desaguadora, filtros a vácuo), devido aos baixos custos de implantação, operação e manutenção e facilidade operacional, além de ser uma alternativa ambientalmente mais favorável, visto que em sistemas naturais não são utilizados insumos tais como energia elétrica e produtos químicos. Porém, deve-se considerar que uma limitação dos sistemas naturais é a condição climática.

No Brasil, vários estudos sobre leitos de drenagem / secagem com uso de mantas geotêxteis foram realizados por Achon (2003), Fontana (2004), Silva (2006) e Barroso (2007), tendo apresentado resultados promissores no processo de desaguamento de lodos de ETAs, o que requer estudos adicionais sobre a técnica.

Dentro deste contexto, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o sistema de desaguamento de lodo de decantadores de ETAs em leito de drenagem com uso de manta geotêxtil por meio de ensaios de laboratório em protótipo de escala reduzida, sob duas condições de exposição - em área protegida e desprotegida da ocorrência de precipitação e incidência de raios solares, considerando os aspectos técnicos de projeto:

- concepção física: taxa de aplicação de sólidos e tipo de manta geotêxtil;
- condições operacionais: lâmina líquida na unidade de drenagem e duração das fases de drenagem e de secagem;
- aspectos quantitativos e qualitativos de eficiência: caracterização do lodo afluente ao sistema de desaguamento, qualidade do drenado e da torta produzidos em função das condições de exposição.

MATERIAIS E MÉTODOS

Lodo de estudo

Para a realização dos experimentos nos protótipos em escala reduzida foi realizada em 09/09/2010, a coleta de lodo de um dos decantadores convencionais da ETA Cafezal I do município de Londrina, que utiliza cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) como coagulante químico. Todo resíduo dos decantadores é encaminhado para um reservatório enterrado, e periodicamente este lodo é recalcado para a Estação de tratamento de esgotos do município.

Em geral, as determinações dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos adotados nos ensaios para caracterização do lodo e do drenado foram realizadas segundo APHA, AWWA, WEF (2005) com adaptações. Na Tabela 1, são apresentados os parâmetros e métodos de análise / equipamento utilizado nos experimentos.

Tabela 1: Parâmetros de desempenho e métodos analíticos / equipamentos a serem utilizados nos experimentos

PARÂMETRO	MÉTODO
pH	Potenciométrico
Temperatura (°C)	Termômetro de Hg 2550 B
Umidade relativa do ar (%)	Digital
Turbidez (uT)	2130 B Nefelométrico
Cor aparente (uH)	Espectrofotométrico 2120 C
Cor verdadeira (uH)	Espectrofotométrico 2120 C filtrado em membrana tipo GF/C
DBO5d, 20°C (mg.L-1)	Teste DBO 5 dias a 20°C
DQO (mg.L-1)	Refluxo fechado / 5220 C
Série de sólidos (mg.L-1)	2540 B Sólidos secos a 103-105°C; 2540 E Sólidos voláteis incinerados a 550°C

Sistema de desaguamento

O sistema de desaguamento foi composto por um tanque de polietileno com capacidade de 500 L para acondicionamento do lodo da ETA.

A unidade de desaguamento foi constituída por um tubo de PVC DN 100 mm com 60 cm de altura, indicador externo de nível, adaptado a um CAP de PVC com fundo recortado para dispor o leito de drenagem composto por grelha plástica para suporte da manta geotêxtil em poliéster e dispositivo de fundo cônico para coleta do drenado. Foram utilizadas mantas de gramaturas de 150, 300 e 600 g.m⁻², as quais foram gentilmente fornecidas pela Macafferri.

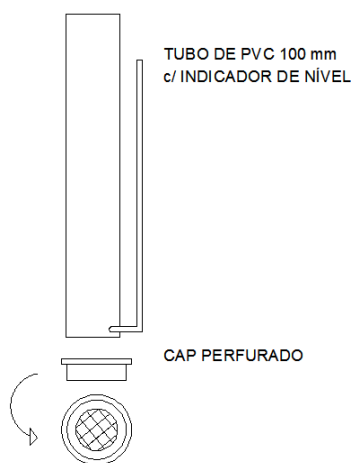


Figura 1: Componentes da unidade de desaguamento - protótipo de escala reduzida



Figura 2: Foto da unidade de desaguamento - protótipo de escala reduzida

Ensaio de desaguamento

Nesse estudo foram realizados os seguintes ensaios de desaguamento:

- Ensaios preliminares de desaguamento do lodo: cujo objetivo foi estabelecer as taxas de aplicação de sólidos - TAS na fase de drenagem e tempo de monitoramento da fase de secagem;
- Ensaios finais de desaguamento do lodo: cujo objetivo foi estabelecer parâmetros de projeto para cada tipo de leito de drenagem (tipo de manta geotêxtil e TAS) considerando os resultados relativos à eficiência do sistema de desaguamento, quanto aos aspectos quantitativos e qualitativos em função das condições de exposição.

Cada ensaio de desaguamento foi dividido em 2 fases distintas e consecutivas: Fase I de drenagem (até a extinção da lâmina líquida) e Fase II de secagem, com duração total de até 7 dias, visando atender uma condição operacional crítica passível de aplicação em ETAs de pequeno porte.

Para sistematizar os resultados em relação à qualidade do drenado foram estabelecidos 2 condições de atendimento:

- Condição I: considerando a possibilidade de lançamento do drenado em corpos de água classe II estabelecido pelo Conama 357/05, classificação da maioria dos corpos hídricos da região, produção de drenado com valores de turbidez inferiores a 100 uT;
- Condição II: considerando a possibilidade de reaproveitamento do drenado no sistema de produção de água, produção de drenado com valores de turbidez inferiores a 10 uT.

RESULTADOS OBTIDOS

Caracterização do lodo de estudo

As características físicas, químicas e microbiológicas do lodo de estudo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características do lodo de estudo

PARÂMETRO	LODO DE ESTUDO
pH	7,12
Turbidez (uT)	16.900
Cor aparente (uH)	65.507
Cor verdadeira (uH)	36,4
SST (mg.L ⁻¹)	11.600
SSV (mg.L ⁻¹)	2.380
SSF (mg.L ⁻¹)	9.222
ST (mg.L ⁻¹)	14.132
DBO _{5d, 20°C} (mg.L ⁻¹)	129
DQO (mg.L ⁻¹)	687

As características do lodo são bastante particulares e variáveis em função das características da água bruta, dos produtos químicos utilizados, processos de tratamento adotados e métodos de limpeza dos decantadores (Di Bernardo & Dantas, 2005). Em relação ao teor de sólidos no lodo em estudo, este resultou da ordem de 1,3%, valor em acordo com os dados descritos por Reali (1999) em que o teor de sólidos no lodo descartado pelos decantadores varia na faixa de 0,1% a 2,0%.

Segundo a Resolução 357/05 do Conama que estabelece no art. 14 os padrões de qualidade de água para corpos hídricos Classe II, condição predominante nos rios da região, os parâmetros analisados no lodo em estudo apresentaram-se acima do estabelecido para essa condição. Pode-se então concluir que o lançamento desse lodo *in natura* com as características apresentadas, além de trazer impactos negativos ao corpo receptor, está em desacordo com a legislação vigente, comprovando a importância de um tratamento prévio ao descarte no corpo hídrico.

Ensaio de desaguamento

Após realização dos ensaios preliminares de desaguamento do lodo foram estabelecidos os parâmetros a serem aplicados nos ensaios finais, apresentados na Tabela 3. Pôde-se observar nos ensaios preliminares que a qualidade do drenado é bastante sensível à variação da vazão de alimentação durante o carregamento da unidade de drenagem, o que levou à necessidade de definição de uma vazão a ser mantida constante durante a alimentação.

Tabela 3: Parâmetros aplicados nos ensaios finais

MANTA (g.m ⁻²)	TAXA DE APLICAÇÃO DE SÓLIDOS - TAS (kg.m ⁻²)	VAZÃO DE CARREGAMENTO (mL.min ⁻¹)	TEMPO DE SECAGEM (d)
150	2,5 / 5,0 / 10,0	100 mL.min ⁻¹	4 - 7
300	1,25 / 2,5 / 5,0		
600	1,25 / 2,5 / 5,0		

Para a realização dos ensaios finais, foram construídos 2 módulos de protótipos em escala reduzida – um para cada condição de exposição, compostos cada qual por 9 unidades de desaguamento (3 tipos de manta x 3 valores de TAS). Todos os protótipos foram carregados no mesmo dia com uma vazão constante de 100 mL.min⁻¹ de lodo devidamente homogeneizado. Após carregamento, os módulos foram submetidos a duas condições de exposição, em área protegida e desprotegida da ocorrência de precipitação e incidência de raios solares.

Devido à facilidade de análise, rápido tempo de resposta e boa correlação com o teor de sólidos totais, o parâmetro de controle de eficiência utilizado no monitoramento para avaliar as diferentes unidades de drenagem foi a turbidez.

Foram avaliados para cada tipo de manta e TAS aplicadas o tempo e a TAS mínima necessários para atender as condições de atendimento impostas – Condição I e II.

Pôde-se observar que em relação à produção de drenado com valor de turbidez inferior a 100 uT – Condição I:

- As porcentagens de volume de drenado que atenderiam a condição estabelecida foram maiores para as mantas de maior densidade e valores mais elevados de TAS;
- Independentemente dos valores das TAS, as porcentagens de volumes foram superiores a 50, 65 e 78% para as mantas de 150, 300 e 600 g.m⁻², respectivamente;
- Os tempos requeridos variaram significativamente entre 18 e 45 min, provavelmente, devido às interferências em relação à dificuldade na manutenção da vazão de alimentação de forma constante;
- Há um valor mínimo de TAS associado a cada tipo de manta a partir do qual a qualidade do drenado satisfaz o limite estabelecido. Esses valores de TAS são inversamente proporcionais às densidades das mantas e resultaram da ordem de 1,26 a 1,62 kg.m⁻² para a manta de 150 g.m⁻², 0,36 a 0,84 kg.m⁻² para a manta de 300 g.m⁻² e 0,28 a 0,35 kg.m⁻² para a manta de 600 g.m⁻².

Em relação à produção de drenado com valor de turbidez inferior a 10 uT – Condição II, pôde-se observar que:

- Independentemente dos valores das TAS, as porcentagens de volumes de drenado que atenderam ao limite foram superiores a 44, 48 e 72% para as mantas de 150, 300 e 600 g.m⁻², respectivamente.
- Os valores mínimos de TAS associados a cada tipo/gramatura de manta a partir do qual a qualidade do drenado satisfaz ao limite resultaram da ordem de 1,43 a 2,29 kg.m⁻² para a manta de 150 g.m⁻², 0,52 a 1,15 kg.m⁻² para a manta de 300 g.m⁻² e 0,36 a 0,47 kg.m⁻² para a manta de 600 g.m⁻².

Nas Figuras 3, 4 e 5, são apresentados os gráficos dos resultados da Fase I de drenagem para as mantas geotêxteis de 150, 300 e 600 g.m⁻² com as respectivas TAS que proporcionaram maiores porcentagens de volume de acordo com as condições I e II estabelecidas.

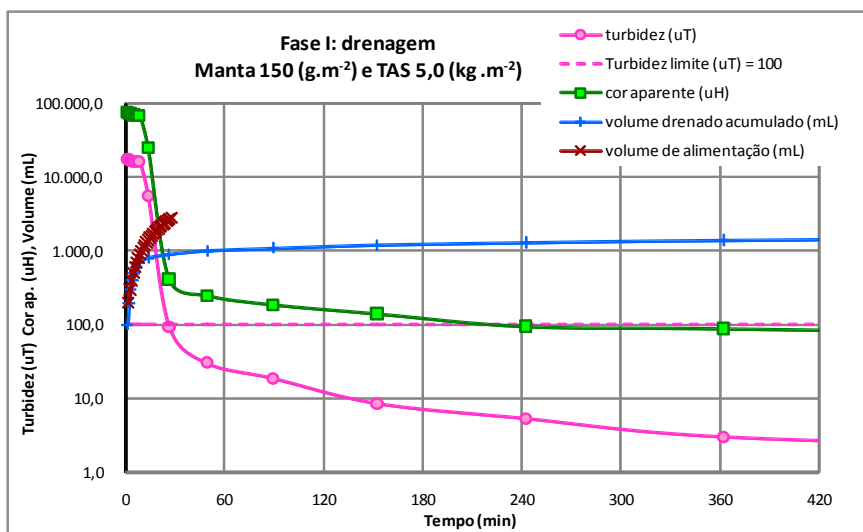


Figura 3: Resultados da Fase I de drenagem para manta geotêxtil de 150 g.m² e TAS de 5,0 kg.m⁻²

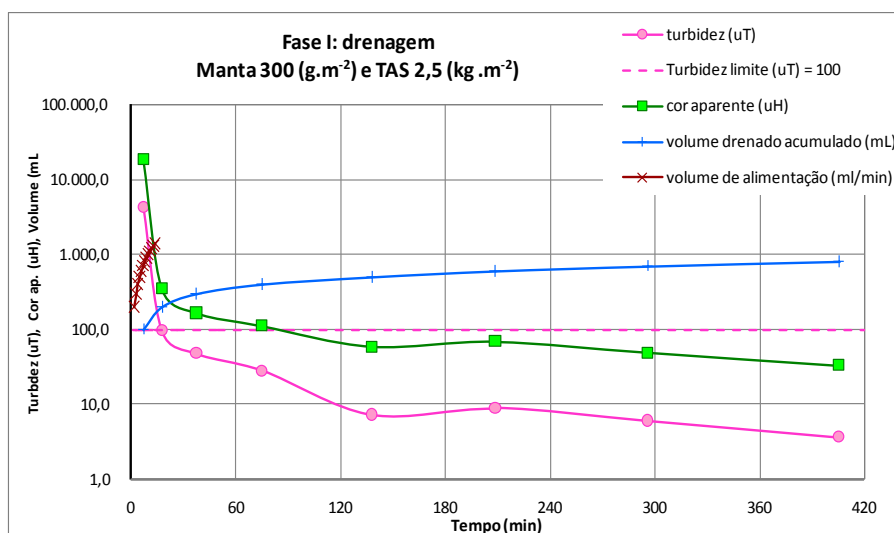


Figura 4 : Resultados da Fase I de drenagem para manta geotêxtil de 300 g.m² e TAS de 2,5 kg.m⁻²

Como era de se esperar, é possível observar que a qualidade do drenado em relação à turbidez e cor aparente é melhorada com o aumento da densidade da manta geotêxtil, uma vez que para a manta de 150 g.m⁻² e TAS de 5 kg.m⁻², 84% do volume de drenado apresentou turbidez inferior a 100 uT – Condição I, e para as mantas de 300 g.m² e 600 g.m² e TAS de 2,5 kg.m⁻², os volumes de drenado foram respectivamente de 86 e 87%. Com as mesmas TAS as porcentagens de volume de drenado que atenderam a Condição II, foram 78, 80 e 83% para as mantas de 150, 300 e 600 g.m⁻² respectivamente.

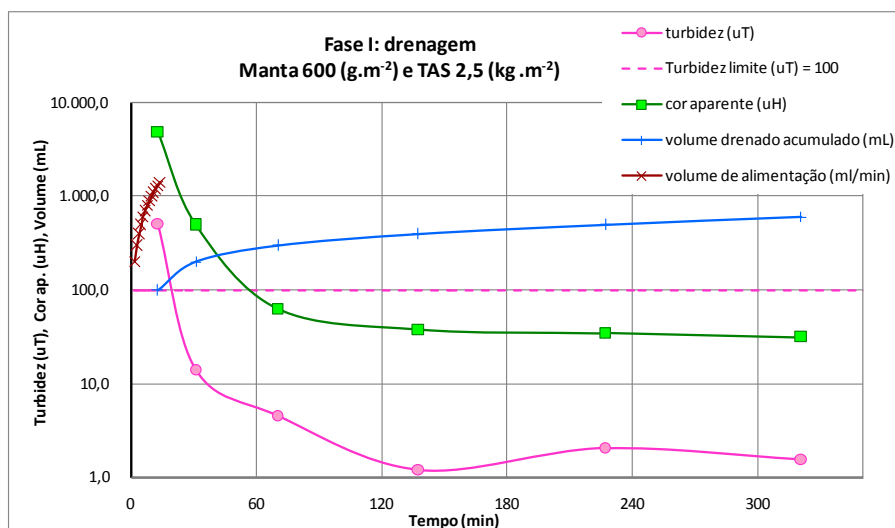


Figura 5: Resultados da Fase I de drenagem para manta geotêxtil de 600 g/m² e TAS de 2,5 kg.m⁻²

Para avaliar o impacto da carga de poluição gerada pelo lançamento do volume global do drenado em um corpo hídrico receptor classe II, foi constituída uma amostra composta dos drenados para cada condição testada e realizada a caracterização físico-química da mesma. As Figuras 6, 7, 8 e 9 correspondem aos resultados de turbidez, sólidos totais, cor aparente e DQO da amostra composta dos drenados, respectivamente.

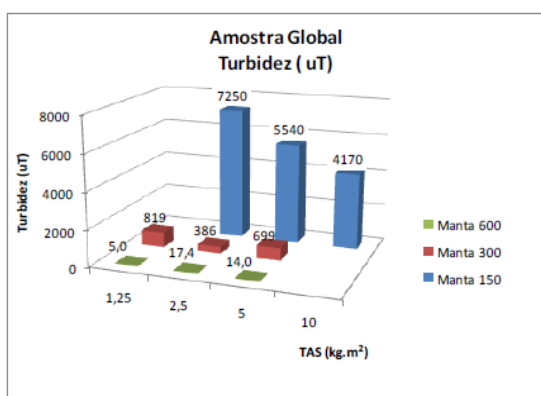


Figura 6: Turbidez da amostra composta com as mantas de 150, 300 e 600 g.m⁻²

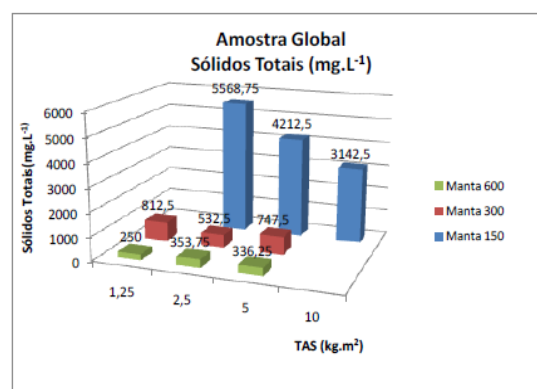


Figura 7: Sólidos totais da amostra composta com as mantas de 150, 300 e 600 g.m⁻²

Em relação à turbidez, o drenado global que atendeu ao Conama 357/05 para corpos de água classe II foi apenas o da manta de 600 g.m⁻² independente da TAS aplicada.

Embora a legislação vigente não estabeleça limite de sólidos totais para enquadramento em águas doces classe II, todos os drenados globais obtidos apresentaram valores inferiores 5.600 mg.L⁻¹, correspondente à manta de 150 g.m⁻² com TAS de 2,5 kg.m⁻². Como o lodo de estudo apresentou valores de sólidos dissolvidos totais - SDT da ordem de 2532 mg.L⁻¹ muito provavelmente, os drenados globais atenderiam ao limite de SDT de 500 mg.L⁻¹, estabelecido pelo Conama 357/05.

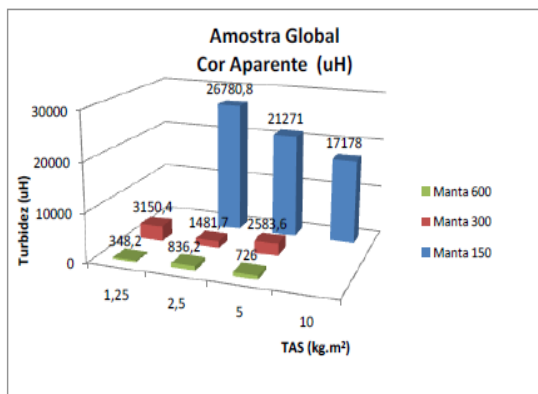


Figura 8: Cor aparente da amostra composta com as mantas de 150, 300 e 600 g.m⁻²

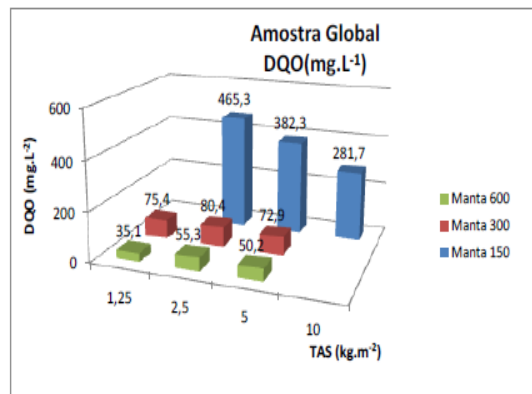


Figura 9: DQO da amostra composta com as mantas de 150, 300 e 600 g.m⁻²

O lodo de estudo apresentou valor de cor verdadeira de 36,4 uH, sendo este, inferior ao limite estabelecido pela resolução vigente correspondente à condição II.

A Legislação Estadual SEMA/07 estabelece o limite de DQO de 125 mg.L⁻¹. Pode-se então concluir que independentemente das TAS, somente as mantas de 300 e 600 g.m⁻² foram eficientes para enquadramento nesta legislação.

A escala reduzida empregada nesse trabalho limitou a avaliação dos resultados da Fase II de secagem e as condições climáticas não favoreceram a análise comparativa dos resultados. No entanto, observou-se que a incidência de raios solares, a elevação da temperatura e a redução do teor de umidade do ambiente, influenciaram no desaguamento contribuindo para a aceleração da extinção da lâmina líquida remanescente nas unidades de desaguamento mantidas sob condição externa de exposição - condição desprotegida.

CONCLUSÕES

Com este estudo, foi possível verificar que os ensaios de laboratório em protótipo de escala reduzida podem fornecer subsídios e parâmetros / informações técnicas importantes para uso em projetos em escala real, especialmente por possibilitar a avaliação da eficiência da fase de drenagem sob os aspectos quantitativos (volumétricos) associados aos qualitativos em relação aos parâmetros estabelecidos pelos órgãos ambientais federal, estaduais e municipais visando à proteção dos corpos hídricos receptores ou ainda pelas ETAs devido à possibilidade de reaproveitamento do drenado para produção de água tratada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHON, C.L.; CORDEIRO, J.S. Gerenciamento de lodo de ETAs – Remoção de água livre através de Leitões de Secagem e Lagoas. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Joinville, 2003. cd. I-047.
2. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT. NBR 10.004 – Resíduos sólidos - Classificação, Rio de Janeiro, 2004.
3. APHA, AWWA, WEF, Standard Methods For The Examination Of Water & Wastewater 21st Edition, 2005.
4. ACHON, C.L.; SOARES, L. V.; MEGDA, C. R. Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campo Grande, 2005.
5. CONAMA nº 357. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a Classificação das Águas Doces, Salobras e Salinas do Território Nacional. Brasília, 2005.
6. LOPES, L. N. A.; MACHADO, L. C. G. T.; LIMA, R. F.; PEREIRA, J. A. R. Avaliação do desaguamento de lodo de ETA em leito de secagem. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campo Grande, 2005.
7. BARROSO, M. M. Influência das micro e macropriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por leito de drenagem. Tese de doutorado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

8. FONTANA, A. O. Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como Solução para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros - Estudo de Caso: ETA Cardoso. Dissertação de Mestrado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, 2004.
9. SILVA, R C. Avaliação técnica e econômica de sistema alternativo para redução de volume de lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETA's) de pequeno porte. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, 2006.