

AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE LEITO DE DRENAGEM NO DESAGUAMENTO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COM ÊNFASE NA INFLUÊNCIA DOS AGENTES EXTERNOS NA FASE DE SECAGEM

EVALUATION OF A DRAINAGE BED SYSTEM IN THE DEWATERING OF SLUDGE FROM A WATER TREATMENT PLANT EFFECTED BY EXTERNAL AGENTS ON THE DRYING STAGE

Bruna Santos¹, André Luiz Oliveira², Márcio Ricardo Salla³, José Eduardo Alamy Filho⁴, Carlos Eugênio Pereira⁵

¹Mestre em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG.

E-mail: brunasantos.nha2@gmail.com

^{2,3,4,5}Professores da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, MG

²E-mail: andreoliveira@feciv.ufu.br

³E-mail: mrsalla@feciv.ufu.br

⁴E-mail: zealamy@yahoo.com.br

⁵E-mail: carloseugenio@feciv.ufu.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a avaliação do desempenho do sistema de Leito de Drenagem em escala reduzida no desaguamento de lodo de uma Estação de Tratamento de Água. Foram avaliadas as fases de drenagem e secagem do lodo, sendo que na fase de secagem os ensaios foram conduzidos em duplicata para investigação da influência de fatores climáticos no tempo de secagem. Para tanto foram conduzidos experimentos com três Leitos de Drenagem, cada um com uma manta geotêxtil diferente, avaliados sob a aplicação de três distintas taxas de aplicação de sólidos. Uma vez escolhida a melhor taxa de aplicação de sólidos, foram conduzidos ensaios nos quais foi avaliada a influência parcial dos agentes externos apenas na fase de secagem, removendo-se a proteção lateral de um dos leitos. Foram avaliados, portanto, três mantas geotêxteis em ensaios em duplicata considerando a influência parcial ou não dos agentes climáticos. Assim, para cada manta estudada foram montados dois leitos de drenagem, um com a proteção lateral e outro sem a proteção lateral, totalizando seis leitos de drenagem. As fases de drenagem e de secagem do lodo foram avaliadas com taxas de aplicação de sólidos de 1,75 kg·m⁻², 3,5 kg·m⁻² e 7,0 kg·m⁻². Na fase de drenagem foi avaliado o parâmetro turbidez e na fase de secagem foi observada a influência das variáveis climáticas no desaguamento do lodo por meio da obtenção do teor de sólidos. Ressalta-se que os Leitos de Drenagem foram protegidos da incidência direta da chuva, ou seja, a influência foi indireta. O efluente do drenado apresentou, logo no início de operação do sistema, turbidez abaixo de 10 NTU e, ao final, próximo de 1 UNT e o lodo apresentou teor de sólidos 50% maior para o LD sem proteção lateral (envoltória).

Palavras chaves: Estação de Tratamento de Água (ETA), Geotêxteis, Lodo, Leitos de drenagem.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the performance of the System Draining Beds sludge dewatering in a Water Treatment Plant. Phase's drainage and drying of the sludge were evaluated, and the drying phase assays were conducted in duplicate for investigation of the influence of climatic factors on the drying time. Both experiments with three Draining Beds, each with a different geotextile, evaluated under the application of three different application rates of solids, were conducted. Once chosen the best application rate of solids, trials were conducted in which the partial influence of external agents was assessed only at the stage of drying, removing the lateral protection of the beds. Therefore, there were evaluated three geotextile blankets trials in duplicate considering partial or none influence of climatic agents. Then, for each bed studied, two blanket drain were assembled, one with side protection and other without side protection, totaling six beds of drainage. The steps of draining and drying of the sludge were evaluated at application rates of 1.75 kg·m⁻², 3.5 kg·m⁻² and 7.0 kg·m⁻² of solids. In a drain phase, the parameter turbidity was evaluated and in the drying step the influence of climate variables were observed in the dewatering of sludge to the obtained solids. It is noteworthy that the Draining Beds were protected from direct impact of rain, i.e., the influence was indirect. The effluent drained presented, earlier in the system operation, turbidity below 10 NTU and, at the end, turbidity near 1 NTU and the sludge solids showed 50% greater for the LD without lateral protection.

Keywords: Water Treatment Plants (WTP), Geotextiles, Sludge, System Draining beds.

1 – INTRODUÇÃO

Os lodos de Estações de Tratamento de Água no Brasil, ainda hoje, em sua maioria, são lançados de forma indiscriminada nos corpos de água. A constituição do lodo

e sua concentração causam, principalmente no ponto de lançamento, grande desequilíbrio ambiental. Dentre as várias tecnologias disponíveis para desaguamento do lodo e posterior destinação final destaca-se, no Brasil, o sistema de Leito de Secagem, devido principalmente à

disponibilidade de área e condições climáticas favoráveis. Conforme Barroso (2007), a tecnologia de desaguamento natural de lodos tem sido utilizada para remoção de água de rejeitos de diversos tipos de tratamento de águas residuárias e de abastecimento desde o início do século XX.

Os Leitos de Drenagem (LD), adaptação dos tradicionais Leitos de Secagem, no qual a camada filtrante é constituída por manta geotêxtil (manta), foram concebidos e avaliados a partir dos trabalhos de Martel (1989), Cordeiro (1993), Thériault (1991), entre outros.

Martel (1989) avaliou a eficiência de um sistema natural de desaguamento de lodo congelado em escala de bancada. Tal sistema, que viria configurar a base dos atuais sistemas de Leito de Drenagem, foi montado em coluna de acrílico na qual foram dispostas camadas de cascalho, manta e areia. Os trabalhos tiveram como objetivo principal avaliar a interferência do congelamento e descongelamento do lodo no processo de desaguamento. Os resultados observados foram incipientes, mas contribuíram para a implantação futura deste tipo de sistema.

Thériault (1991) utilizando um sistema de Leito de Drenagem no tratamento de lodo de esgoto, verificou um menor tempo de drenagem se comparado ao sistema convencional e reforçou suas vantagens e benefícios, como menor custo de implantação e menor requisito de área.

Koerner e Koerner (1992) avaliaram a eficiência do sistema de Leito de Drenagem comparando diversos tipos de mantas geotêxteis de diferentes materiais de composição e características estruturais (tecidas, não tecidas, de poliéster, de polipropileno, entre outros) no desaguamento de lodo de esgoto doméstico tratado. Foram testados leitos compostos por camadas de areia e manta ou somente areia ou somente manta. Este trabalho possibilitou uma avaliação comparativa da permeabilidade do lodo e da capacidade de retenção de sólidos nos diferentes meios filtrantes. Os autores constataram que a permeabilidade foi maior com o uso exclusivo da manta, quando comparado à manta combinada com a areia, sem prejuízo da qualidade do efluente, ou seja, foi atestada a eficiência do sistema a partir da substituição do leito filtrante.

No Brasil, Cordeiro (1993, 2001) reforça os resultados encontrados por Thériault (1991) e Koerner e Koerner (1992) após avaliação comparativa dos sistemas compostos de Leito de Secagem e de Leito de Drenagem. Em seus trabalhos o autor confirmou que a substituição do meio filtrante em areia pela manta resulta em intensa redução do tempo de drenagem no sistema de Leito de Drenagem.

Achon e Cordeiro (2003) avaliaram os sistemas compostos por Leito de Drenagem e Lagoa de lodo e observaram que as Lagoas de Lodo podem levar até meses para que o lodo alcance a porcentagem de sólidos observada aos sete dias de operação dos Leitos de Drenagem, o que evidencia o quão compacto e eficiente é este tipo de sistema.

Fontana (2004) avaliou o desempenho do Leito de Drenagem no tratamento de lodo de ETA em escala piloto e escala real. O autor reforça a necessidade de estudos em

protótipos para determinação dos parâmetros ideais a serem aplicados em escala real. O autor destaca que a utilização do Leito de Drenagem como sistema natural de desaguamento é viável e eficiente e enfatiza o caminhamento diferenciado para o lodo gerado nos decantadores e na lavagem de filtros, este último com destino inicial para sedimentadores. As conclusões finais foram promissoras, entretanto, parciais. Neste sentido, destaca a necessidade de realização de mais estudos para a utilização efetiva dos Leitos de Drenagem no que diz respeito, principalmente, às avaliações de longo prazo.

Mendonça *et al.* (2004) realizaram um estudo comparativo de eficiência entre os sistemas naturais de desaguamento de lodo (Leito de Secagem e Leito de Drenagem), aplicados ao tratamento de lodo de indústrias de derivados do petróleo. Relatam que ambos os sistemas foram eficientes na redução do volume de lodo, remoção de óleo, graxa e redução da DQO, mas frisam que apesar de não observadas diferenças significativas quanto à qualidade do drenado, o tempo de drenagem foi inferior no Leito de Drenagem, ou seja, este sistema é mais compacto.

Barroso (2007) procurou avaliar as possíveis relações e interferências de variáveis climáticas e das micro e macro propriedades do lodo no desempenho do Leito de Drenagem. O autor relata que quanto menor a Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS, dada por Kg de sólidos aplicada por m² de leito) maior a vazão de drenagem, portanto, menor o tempo de operação, além disso, observou que propriedades como o tamanho das partículas e variações do pH do lodo podem interferir na capacidade drenante das mantas. Além disso, os estudos comprovaram, como esperado, que as variáveis climáticas desempenham papel fundamental na fase de secagem do lodo.

Mortara (2011) avaliou o tratamento de lodo de ETE pelo sistema de Leito de Drenagem aplicando polímeros como pré-tratamento, com vistas ao aumento da eficiência. O autor observou que o tratamento prévio com polímeros possibilitou menor tempo de drenagem, produziu efluente drenado de melhor qualidade, mas pouco interferiu no tempo de secagem.

Kuroda *et al.* (2013) avaliaram a aplicação dos LD em protótipos de escala reduzida e piloto, considerando, além de parâmetros de projeto, aspectos quantitativos e qualitativos do drenado e tortas de lodo produzidos. Os autores concluíram que o desaguamento de lodo de decantadores de ETA por leito de drenagem com mantas geotêxteis mostrou ser um processo natural de desaguamento eficiente e passível de aplicação em ETA de pequeno porte, além de econômico, devido ao baixo consumo de energia ou adição de produtos químicos. Além disso puderam constatar que a perda de umidade nos ensaios em escala piloto foi favorecida, resultando na extinção da lâmina líquida em 1 dia e teor de sólidos totais de 18,3 %, 7 dias após o carregamento (teores da mesma ordem de grandeza que as obtidas em técnicas mecânicas).

Apesar dos diversos trabalhos já conduzidos sobre o tema, os conhecimentos ainda são insuficientes para caracterizar perfeitamente a tecnologia. Os próprios autores desses trabalhos destacam a importância do

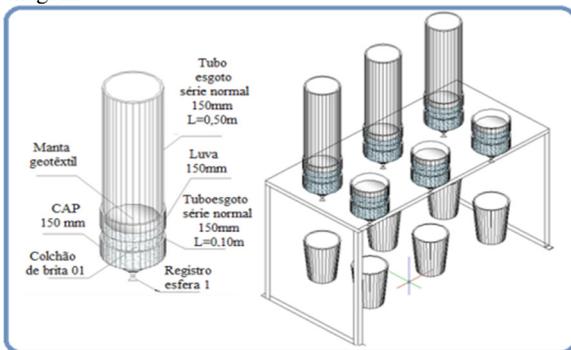
desenvolvimento de mais estudos, visto que o lodo, tanto de ETA quanto de ETE, é produzido em milhares de toneladas diárias e deve ser corretamente disposto na natureza. Neste contexto fundamentou-se o presente trabalho.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi avaliado o tratamento do lodo gerado nos decantadores da Estação de Tratamento de Água Bom Jardim em Uberlândia, MG. Na ETA a água bruta é submetida ao tratamento convencional de ciclo completo, no qual é utilizado o sulfato de alumínio como agente coagulante. O lodo gerado na ETA, objeto deste trabalho, foi coletado na ocasião de lavagem dos decantadores e lavagem dos filtros, cuja concentração de sólidos e demais parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram obtidos posteriormente em laboratório. Todas as técnicas aplicadas para o desenvolvimento destas análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods For Examination of Water & Wastewater* da APHA (2005). O lodo bruto foi caracterizado quanto aos parâmetros pH, temperatura, cor, turbidez, concentração de resíduos sólidos, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio e quanto à concentração dos metais pesados Fe, Mn, Cd, Cr, Pb e Al. O efluente do Leito de Drenagem foi caracterizado em termos de turbidez.

Na Figura 1 é ilustrado o sistema de LD utilizado. Todos os LD apresentavam as mesmas dimensões, entretanto, em três deles era possível a retirada do anteparo lateral (tubo).

Figura 1 – Esquema e fotografia do sistema de Leito de Drenagem



Os Leitos de Drenagem utilizados no desaguamento e secagem natural do lodo foram compostos por tubo de PVC de 150 mm de diâmetro com 0,5 m de altura, ligados a um *cap* de PVC preenchido com brita (que constituía a base do Leito de Drenagem), no qual era posicionada a manta. Na parte inferior e externa do *cap* foi instalado registro de esfera para coleta de amostras, conforme ilustrado na Figura 1.

3 – DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Inicialmente foram realizadas análises para verificação da concentração de sólidos presentes no lodo dos decantadores da ETA e na água de lavagem de filtros. A partir da análise da concentração de sólidos da amostra de lodo (mistura de lodo dos decantadores e água de lavagem dos filtros) foi possível estabelecer o volume de lodo a ser lançado nos Leitos de Drenagem para determinada Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS), uma vez conhecida a área da base dos Leitos (local de implantação das mantas). Para as TAS de $1,75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, $3,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ e $7,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ avaliadas, e, considerando-se a concentração de sólidos no lodo (mistura) de $17,2 \text{ kg/l}$, foram necessários, respectivamente, 1,8 litros, 3,6 litros e 7,2 litros de lodo.

3.1 Fase de drenagem

O drenado do lodo submetido ao desaguamento pelo sistema de Leito de Drenagem foi caracterizado em termos de turbidez. Nesta fase o lodo era descarregado em volume pré-determinado em função da TAS desejada. Após colocação de todo o lodo dentro do Leito de Drenagem, era aberto o registro de esfera locado em sua base, para dar início à fase de drenagem. O estabelecimento do fim da fase de drenagem foi baseado em Barroso (2007), cujo critério de parada foi o alcance da vazão de $0,04 \text{ l/min}$ correspondente a 10 ml de drenado em 15 minutos.

3.2 Fase de secagem

O início da fase de secagem era coincidente com o final da fase de drenagem e o resíduo retido na manta era caracterizado quanto ao teor de sólidos (em termos percentuais). Eram coletadas amostras de lodo diariamente para o cálculo do teor de sólidos, até o sétimo dia de experimento, no qual o ensaio era interrompido. As coletas eram realizadas, cuidadosamente, nas porções superiores da camada de lodo. Era coletado um volume mínimo necessário para análise de sólidos para diminuir os efeitos desta retirada. Além da avaliação diária do teor de sólidos também foi avaliada, parcialmente, a influência das variáveis climáticas como temperatura, umidade, radiação solar, ventos e pluviosidade no desempenho dos LD na fase de secagem. Neste sentido, os Leitos de Drenagem foram avaliados com e sem envoltórios (tubo de PVC de 0,5 m de altura retirados após a fase de drenagem), conforme ilustra Figura 1, ou seja, os modelos foram avaliados submetidos total ou parcialmente às condições climáticas do local. Tal avaliação pôde destacar e comprovar a ação dos ventos e a importância dos outros

fatores climáticos na eficiência da desidratação do lodo na fase de secagem. Os sistemas que tiveram mantidos os envoltórios foram totalmente isolados das ações do vento no processo de desidratação do lodo e parcialmente isolados das outras variáveis climáticas.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados na sequência lógica de realização dos experimentos, ou seja, primeiramente são apresentados e discutidos os resultados de caracterização do lodo, resultados obtidos na fase de drenagem da água livre e, posteriormente, resultados obtidos na fase de secagem do lodo com ênfase nos agentes externos.

4.1 Caracterização do lodo

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros medidos para o lodo e também valores de referência destes parâmetros estabelecidos na resolução CONAMA nº 430 (2011), que trata dos padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos. Como, infelizmente, em grande parte das ETA no Brasil o lodo gerado no processo de tratamento ainda é descartado em coleções hídricas, esta comparação se fez necessária.

Tabela 1 – Caracterização do lodo da ETA Bom Jardim e os valores dos parâmetros estabelecidos pela resolução CONAMA nº 430 (2011) para o descarte de efluentes nos corpos hídricos.

Parâmetros	Unidade	Lodo decantador ETA Bom Jardim	Resolução CONAMA nº 430 (2011)
pH	-	6,4	5,0-9,0
Cor aparente	uH	N/D	75 ⁺
Turbidez	UNT	N/D	100
Sólidos totais	mg.l ⁻¹	17.200	500*
Fe	mg.l ⁻¹	47.212	15,0**
Mn	mg.l ⁻¹	726 ⁺⁺	1,0*
Al	mg.l ⁻¹	86.076 ⁺⁺	0,1*
Cd	mg.l ⁻¹	< 0,1 ⁺⁺	0,2
Cr	mg.l ⁻¹	89 ⁺⁺	0,1***
Pb	mg.l ⁻¹	7,0 ⁺⁺	0,5
DQO	mg.l ⁻¹ O ₂	5.060	--
DBO	mg.l ⁻¹ O ₂	1.647	5

(***): hexavalente

(N/D): Não Determinado

(+): cor verdadeira

(*): dissolvidos

(++): mg..kg⁻¹

(**): suspensão

Considerando os valores limites para o lançamento de efluentes diretamente nos corpos hídricos e as características do lodo bruto observados na Tabela 1 é possível observar que este resíduo não pode ser lançado diretamente nos corpos d'água. Os valores encontrados para o lodo são extremamente maiores que o permitido por lei, o que, a curto e médio prazos, caso haja o descarte inadequado em cursos de água, representam um panorama de elevados riscos à qualidade das águas do corpo receptor.

É importante ressaltar que o lodo desaguado, obtido a partir da utilização dos Leitões de Drenagem, apresenta grande concentração de sólidos, o que é importante para sua disposição final. Além disso, como descrito por Cordeiro (2001), o lodo de ETA, quando desidratado, apresenta inúmeras possibilidades de reutilização, como a fabricação de cimento, de tijolos e plantação de cítricos. Percebe-se, conforme ilustra a Tabela 1, a grande concentração de alumínio e ferro, valores bem superiores aos limites das normas brasileiras, entretanto, esperados, em função da utilização do sulfato de alumínio (com ferro) utilizado no processo de coagulação.

4.2 Ensaio com o sistema de Leito de Drenagem

Neste trabalho foram utilizadas três mantas distintas, uma para cada leito. As características destas mantas, informadas pelo fabricante, e os testes iniciais de tempo de drenagem e turbidez do drenado são apresentados na Tabela 2

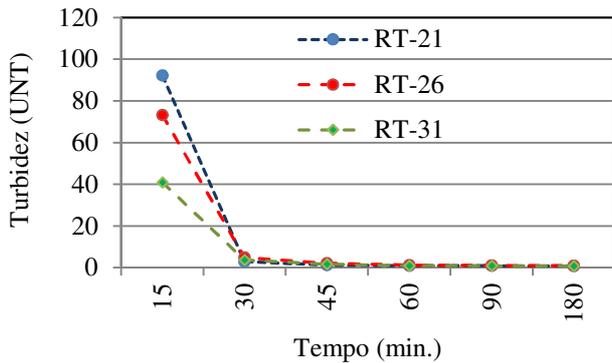
Tabela 2 – Características das mantas geotêxteis estudadas

Propriedades	RT-21 BIDIM	RT-26 BIDIM	RT-31 BIDIM
Permissividade (s ⁻¹) (informações do fabricante)	1,1	0,8	0,8
Fluxo de água (l/(min.m ²)) (informações do fabricante)	3420	2760	2340
Condutividade hidráulica (cm/s) (informações do fabricante)	0,37	0,37	0,37
Abertura aparente (mm) (informações do fabricante)	0,150	0,150	0,125
Matéria-prima e tecnologia (informações do fabricante)	100% poliéster		
Tempo de Drenagem obtido (s)	27	23	32
Turbidez medida (UNT)	218	268	194

4.3 Fase de drenagem

A fase de drenagem era (comentário dos autores: os procedimentos foram conduzidos diversas vezes para cada situação observada, razão da utilização deste tempo verbal) iniciada após lançamento do lodo dentro dos leitões de drenagem e abertura de registro locado em suas bases. Foram coletadas amostras de drenado nos tempos de drenagem iniciais de 15, 30, 45 e 90 minutos e a partir deste foram coletadas amostras de drenado em tempos variáveis até o fim da etapa de drenagem. Na Figura 2 são ilustrados os valores de turbidez para as amostras coletadas nos diferentes tempos de drenagem com Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS) nos Leitões de Drenagem (LD) de 1,75 kg.m⁻², para cada uma das mantas selecionadas. Apesar dos experimentos serem conduzidos em duplicata, ou seja, dois LD com mesmas características (procedimento necessário para a fase de secagem), na fase de drenagem foi avaliado o efluente de apenas um LD de cada configuração. Presumiu-se que tal medida não seria comprometedora uma vez que todos os procedimentos foram rigorosamente reproduzidos. Admitiu-se, portanto, que as características das mantas utilizadas nos leitões em duplicata se mantinham inalteradas.

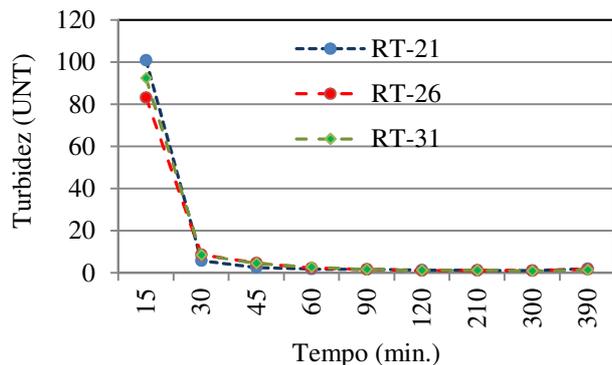
Figura 2 – Dados comparativos entre as mantas geotêxteis RT-21, RT-26 e RT-31 submetidos a TAS = 1,75 kg·m⁻² durante a fase de drenagem



Observa-se uma diferença significativa na qualidade do drenado na amostra coletada nos primeiros 15 minutos de ensaio para as diferentes mantas, entretanto, a partir de 30 minutos é possível observar certa convergência de valores. Uma razão provável para este comportamento está relacionada à obstrução dos poros e, consequentemente, aproximação do comportamento das mantas em termos de permissividade e fluxo de água. Conforme a Figura 2, há um decréscimo significativo nos valores de turbidez e na diferença relativa destes valores considerando-se as diferentes mantas. Desta observação é possível inferir que o pico de turbidez pode ocorrer em um tempo bem inferior a 15 minutos, provavelmente, no primeiro minuto de experimento, no qual se sugere que já ocorra a obstrução parcial dos poros, suficiente para melhorar a qualidade do efluente drenado e aproximar os resultados obtidos nas diferentes configurações.

Na Figura 3 são ilustrados os valores de turbidez para os diferentes LD para TAS de 3,5 Kg·m⁻².

Figura 3 – Dados comparativos entre as mantas geotêxteis RT-21, RT-26 e RT-31 submetidos a TAS = 3,5 kg·m⁻² durante a fase de drenagem

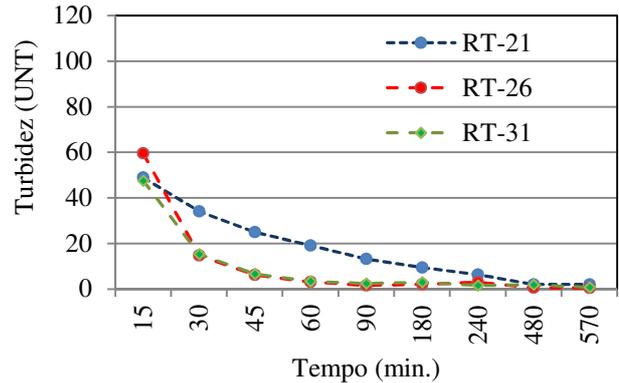


Quando avaliados os drenados dos diferentes LD submetidos a TAS de 3,5 kg·m⁻², observa-se um comportamento semelhante entre as curvas de turbidez. Pode-se observar também valores da mesma ordem de grandeza dos obtidos para a TAS de 1,5 kg·m⁻², o que, em linhas gerais, significa que é possível obter drenado com características semelhantes com o dobro da TAS, evidenciando, em um possível aumento de escala, a

utilização de menores áreas para se implantar este tipo de sistema de tratamento. Observa-se também que há uma melhora significativa nos valores de turbidez do drenado obtido aos 30 minutos de experimento, corroborando com a hipótese de que o pico de turbidez ocorre ainda nos primeiros minutos.

Na Figura 4 são ilustrados os valores de turbidez para os diferentes LD considerando-se a TAS de 7,0 kg·m⁻².

Figura 4 – Dados comparativos entre as mantas geotêxteis RT-21, RT-26 e RT-31 submetidos a TAS=7,0 kg·m⁻² durante a fase de drenagem



Na Figura 4 foi possível observar uma pequena queda na qualidade do drenado, considerando-se as amostras coletadas nos mesmos tempos de drenagem para os ensaios com TAS de 1,75 e 3,5 kg·m⁻². Esta diferença pode ser explicada pelo grande aumento da TAS, que certamente forçou a passagem de mais sólidos pelas mantas. Entretanto, a curva de turbidez obtida para a manta RT-21 apresentou um comportamento fora do esperado e observado nos outros experimentos, possivelmente pelo estabelecimento de algum caminho preferencial do fluxo devido à própria conformação do lodo, uma vez que foram tomados os cuidados de reprodução dos experimentos.

É importante observar que mesmo com o aumento da TAS foi possível a obtenção de drenado com turbidez abaixo de 10 NTU após 30 minutos de experimento. Considerando-se a possibilidade de algum tipo de reuso para o efluente drenado, como alternativa ao lançamento em corpos de água, sua qualidade, em termos de turbidez, é compatível com a de mananciais superficiais.

4.4 Fase de secagem

A fase de secagem tinha início imediatamente após o término da fase de drenagem. Conforme esclarecido, na fase de secagem, os LD foram avaliados em termos de concentração de sólidos das amostras de lodo coletadas diariamente, além da verificação das influências parciais dos fatores climáticos. A influência da interferência parcial dos fatores climáticos foi possível a partir da retirada da proteção lateral do LD ao início da etapa de secagem, conforme ilustra a Figura 1. Como cada LD foi avaliado em duplicata (com e sem a proteção na fase de secagem), foi possível comparar dia a dia a concentração de sólidos nas amostras de lodo dos LD. Como a análise foi

comparativa, estabeleceu-se um período de 7 dias para a fase de secagem.

Nesta fase foram observadas diferenças significativas quanto à desidratação do lodo nas diferentes mantas, quando submetidas a uma mesma TAS, em função da existência do anteparo lateral. Foram também observadas diferenças de teor de sólidos nas amostras coletadas diariamente entre as diferentes TAS para uma mesma manta. Como esperado, observou-se que para menores TAS os teores mais altos de sólidos nas amostras de lodo eram obtidos em um menor tempo, uma vez que menores TAS implicam em menores espessuras de lodo e, portanto configuram situações mais favoráveis à desidratação do lodo.

Em todos os experimentos foi possível verificar um desprendimento do lodo das paredes laterais do LD antes do aparecimento de placas de lodo o que, segundo Mortara (2011) se justifica pela maior transferência de calor da parede do LD para o lodo em relação à transferência de calor do ar atmosférico para o lodo. A transferência de calor do ambiente para o lodo acontece por condução, convecção e radiação e depende, principalmente, da área superficial e da espessura da camada de lodo. Logo, quanto maior a TAS, maior a camada de lodo retido na manta e, conseqüentemente, maior o tempo necessário para a desidratação.

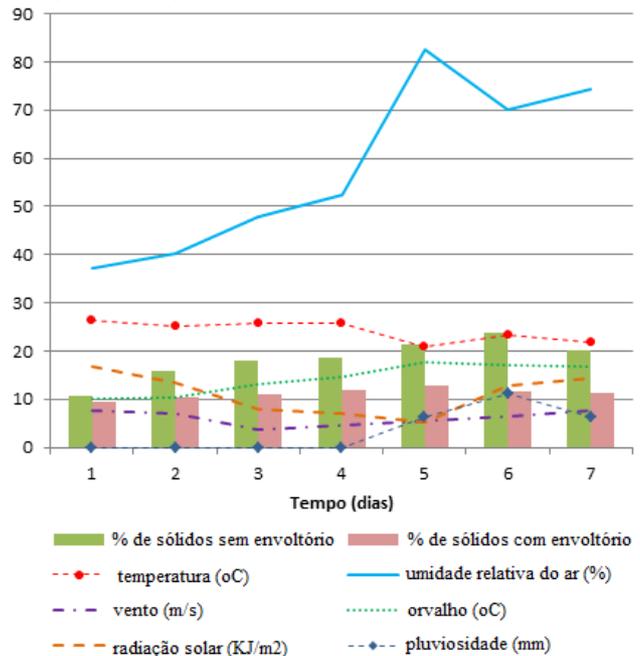
A diferença do teor de sólidos diários entre os sistemas LD com e sem envoltório destaca a importância da ação dos ventos no processo de secagem, visto que diante do isolamento total do lodo retido no sistema de LD pelo envoltório, o processo de desidratação foi prejudicado.

Na Figura 5 são apresentados os resultados de teor de sólidos obtidos para as amostras coletadas do LD composto pela manta RT-31 e submetido a TAS = 3,5 kg·m⁻², além de ilustrar o comportamento de alguns fatores climáticos durante o experimento, que influenciam diretamente no processo. Conforme ilustra a Figura 5, o LD sem envoltório apresentou teor de sólidos bem superior ao LD com envoltório. Ressalta-se que os LD não recebiam contribuição direta de água de chuva, portanto sua influência foi indireta. Os LD ficaram protegidos da chuva devido ao prolongamento de um telhado alto próximo ao local de instalação. No sétimo dia de experimento houve uma queda na diferença de teor de sólidos entre os LD, o que pode inferir a grande influência da radiação solar neste tipo de sistema, uma vez que foi observado um aumento deste parâmetro no dia em questão.

A temperatura apresentou pequenas variações durante os dias de experimento, ficando em torno de 25 °C, e a radiação solar oscilou, em média, de 600 a 1700 kJ·m⁻², variáveis estas que contribuíram para o aumento gradativo do teor de sólidos diários em ambos os sistemas de LD, com e sem envoltório. O índice de pluviosidade foi praticamente nulo nos quatro primeiros dias de experimento, apresentando precipitação no quinto, sexto e sétimo dia (próximo de 10 mm), entretanto, este parâmetro não influenciou diretamente no ensaio devido à proteção dos LD. A umidade relativa do ar variou entre 35% e 81% durante a semana, o que contribuiu negativamente para o

experimento. Os ventos apresentaram velocidade aproximada de 6 m.s⁻¹, os quais tiveram pouca ação sobre os LD com envoltório, o que também justifica os maiores valores do teor de sólidos diários para os LD sem envoltório.

Figura 5 - Dados de Teor de sólidos (%) retidos no LD constituído pela manta RT-31, submetida à TAS = 3,5 kg·m⁻², com e sem envoltório e as médias diárias das variáveis climáticas: temperatura (°C), umidade (%), vento (m/s), orvalho (°C), radiação solar (KJ/m²/100, ou seja, o valor real é obtido multiplicando-se por 100) e pluviosidade (mm).



Segundo Cordeiro (2001), Barroso (2007) e Achon, Barroso e Cordeiro (2008), as variáveis climáticas são fundamentais e indispensáveis ao bom desempenho da desidratação do lodo na fase de secagem. Os experimentos com os LD com e sem envoltório foram conduzidos ao mesmo tempo, sendo assim, foram submetidos às mesmas variações climáticas. Para o estudo da interferência das variáveis climáticas, a média destes valores foi calculada a partir dos valores medidos no intervalo de 24 horas anteriores ao horário da coleta das amostras.

CONCLUSÕES

Foi possível observar que a turbidez do efluente drenado se reduz drasticamente nos minutos iniciais de experimento, chegando a valores inferiores a 10 UNT ao final. É possível que se houver um descarte inicial, o drenado, depois de submetido a algum processo simplificado de tratamento e posterior desinfecção, possa ser enquadrado como água potável, entretanto, muitos outros estudos devem ser realizados para determinação mais precisa dos demais constituintes da água conforme padrões estabelecidos pela Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Portanto, é crucial, nesta situação, avaliar a ocorrência de microrganismos mais tolerantes e pouco numerosos em mananciais superficiais de

abastecimento de água além dos componentes químicos. Os resultados demonstraram que, independentemente da TAS, os valores de turbidez foram baixos, uma vez que os sólidos existentes no lodo tendem a colmatar os poros da manta. O aumento da TAS, como esperado, teve influência negativa sobre o aumento do teor de sólidos. De fato, quanto maior a TAS maior a espessura da camada de lodo após finalizada a fase de drenagem e, conseqüentemente, maior a dificuldade de perda de umidade. Além disso, foi possível observar que nos LD sem envoltório lateral, ou seja, sem proteção parcial do lodo às variáveis climáticas, o teor de sólidos foi, em média, superior a 50% em relação aos LD com o envoltório. Esta verificação evidencia, portanto, a importância da exposição deste tipo de sistema aos agentes climáticos (com exceção dos efeitos negativos da umidade relativa do ar e da chuva). Entretanto, foi possível observar que bons resultados também foram obtidos para o LD com envoltório. De fato, a rápida drenagem da água livre do lodo proporcionada por este tipo de sistema, favorece a etapa de secagem seguinte, indicando que há possibilidade da utilização do LD mesmo em condições climáticas não muito favoráveis. Os resultados obtidos comprovam a grande eficiência dos sistemas de LD no desaguamento de lodo de ETA, no entanto, é importante o desenvolvimento de mais estudos sobre o tema, principalmente em função de sua vida útil.

REFERÊNCIAS

- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL ASSOCIATION (WEA). **Standard methods for the examination of water & wastewater**, 21th ed., 2005.
- ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. Gerenciamento de lodo de ETA - Remoção de água livre através de Leitos de secagem e Lagoas. Anais... Joinville: **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2003.
- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. LD: Sistema natural para redução de volume de lodo de Estação de Tratamento de Água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 54-62, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522008000100008>.
- BARROSO, M. M. **Influência das micro e macropriedades dos lodos de Estações de Tratamento de Águas no desaguamento por Leito de Drenagem**. 2007. 249 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), São Carlos, 2007.
- BRASIL. **Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011.
- CORDEIRO, J. S. **O problema do lodo gerado em decantadores de estações de tratamento de águas**. 1993. 342 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), São Carlos, 1993.
- _____. Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETA). In: FINEP, CNPq, CEF. (Org.). **Resíduos sólidos do Saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA-ABES, v. 1, p. 119-142, 2001.
- FONTANA, A. O. **Sistema de LD 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**. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2004.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações Automáticas. Uberlândia, MG**. Dados da Estação Automática: Uberlândia, MG, 2012.
- KOERNER, G. R.; KOERNER, R. M. Leachate flow rate behavior through geotextile and soil filters and possible remediation methods. **Geotextile and Geomembranes**, n. 11, p. 401-430, 1992.
- KURODA, E. K.; SILVEIRA, C.; MACEDO, J. G.; LIMA, M. S. P.; KAWAHIGASHI, F.; BATISTA, A. D.; SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F. Drenagem/secagem de lodo de decantadores de ETA em manta geotêxtil. **Revista DAE**, n. 194, p. 24-34, 2013.
- MARTEL C. J. Dewaterability of freeze-thaw conditioned sludges. **Journal WPCF**, v. 61, n. 2, p. 237-241, 1989.
- MENDONÇA, M. B.; CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. D. C.; EHRlich, M. A new procedure for treatment of oily slurry using geotextile filters. **Journal of Hazardous Materials**, n. 110, p. 113-118, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.044>.
- MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199**, de 29 de janeiro de 1999. Lex: Política Estadual de Recursos Hídricos, 1999.
- MORTARA F. C. **Utilização de Leito de Drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios**. 2011. 242 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2011.
- THÉRIAULT, S. M. **The use of Geotextile Membranes for the dewatering of Aerobically Digested Sludge**. 1991. 214 p. Master Thesis, The University of New Brunswick, Canada, 1991.