

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE GEOTÊXTIL NO DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA USANDO LEITO DE DRENAGEM

Gabriela Mazocco Pereira da Silva⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Matheus Morais Minatel⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos (PPGEU/UFSCar).

Cali Laguna Achon⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) e Pós-doutora pelo Departamento de Engenharia Civil da UFSCar. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv/UFSCar).

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Washington Luís, Km 235 – SP310 – UFSCar. São Carlos-SP - CEP:13565-905, Brasil. Tel: (16) 3351-9672, e-mail: gabimazocco@gmail.com; caliachon@ufscar.br.

RESUMO

O lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETA) possui cerca de 3% de teor de sólidos, necessitando de desaguamento para a redução de volume, facilitando seu uso benéfico ou reduzindo custos para a sua disposição ambientalmente adequada. No Brasil, o uso de sistemas naturais de desaguamento tem se mostrado como alternativa promissora. Dentre estes sistemas, destaca-se o Leito de Drenagem (LD), que usa geotêxtil de forma a proporcionar a filtração e desaguamento do lodo, e por ser um sistema aberto, tem como vantagem a influência da evaporação na secagem. Essa técnica de desaguamento de lodo de ETA se iniciou no Brasil em 2000 (PROSAB) por Cordeiro (2001) que modificou o Leito de Secagem tradicional, propondo uma nova configuração de sistema, denominado Leito de Drenagem. Porém, a maioria das pesquisas com LD são realizadas usando um único tipo de geotêxtil, especificado por Cordeiro (2001). Assim, esse estudo visa avaliar a influência das propriedades de gramatura, espessura e permissividade dos geotêxtis nos parâmetros obtidos no desaguamento de lodo de ETA em relação a vazão, cor e turbidez do líquido drenado. Os resultados demonstram que essas propriedades do geotêxtil não tem relação direta durante o processo de desaguamento.

PALAVRAS-CHAVE: Geotêxtil, desaguamento, lodo de ETA.

INTRODUÇÃO

A composição dos lodos gerados em ETAs varia em função das características da água bruta, do seu sistema de tratamento e dos produtos e procedimentos utilizados no tratamento (SANTOS, 2012). A quantidade de materiais orgânicos e inorgânicos pode variar no lodo, sendo a maior parcela material inorgânico, composta por areia, silte, argila e reagentes químicos utilizados no tratamento, como sais de alumínio ou de ferro e, a menor parte, por elementos inorgânicos como plânctons, bactérias, vírus, protozoários entre outros (Di BERNARDO et. al., 2002).

Apesar de 95% de sua composição ser de água, de acordo com a NBR 10.004 (2004), o lodo gerado em ETA é considerado um resíduo sólido e deve ter uma destinação adequada. Para que o custo de transporte e o dano ambiental seja diminuído, esse resíduo deve ser devidamente tratado para que a maior parte da água seja separada dos componentes sólidos, possibilitando o reuso, a reciclagem ou a disposição ambientalmente correta. Segundo a PNSB (2008), 94% das ETAs do país descartam o lodo gerado de forma inadequada, lançando-o in natura nos corpos d'água, o que traz uma série de danos ambientais, que podem ser evitados fazendo o devido tratamento.

A redução de volume do lodo por desaguamento pode ser realizada em sistemas mecânicos, que utilizam centrífugas, prensas desaguadoras, filtração a vácuo, ou em sistemas naturais como as lagoas de lodo, leitos de secagem, Geobags e leitos de drenagem. Como uma alternativa eficiente, os leitos de drenagem adequam-se a lugares com área disponível e clima favorável, o que é característico do Brasil.

No Brasil, Cordeiro (2001) começou as pesquisas a respeito da modificação do leito de secagem buscando aumentar sua eficiência. Dois modelos foram testados por Cordeiro (1993 e 2000) em comparação ao modelo tradicional de leito de secagem, modificado 1 e modificado 2, conforme apresentado na figura 1, e o mais eficiente foi o que utiliza apenas geotêxtil e brita (modificado 2). Esse modelo substitui o agregado miúdo utilizado como filtro por geotêxtil e foi denominado leito de drenagem.

De acordo com a NBR 12.553 (2003), geotêxtil é um produto têxtil bidimensional, permeável, composto de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, formando estruturas tecidas, não-tecidas ou tricotadas, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções em uma obra geotécnica.

Nos três sistemas estudados por Cordeiro (2001), os fatores climáticos, como variação de temperatura, umidade do ar, velocidade do vento, etc., interferem na eficiência da secagem do lodo, porém no leito de drenagem o uso do geotêxtil faz com que a água do lodo seja drenada mais rapidamente, sendo parte do líquido removido por drenagem e parte por evaporação, diminuindo o volume de resíduo sólido que deverá ser destinado de forma ambientalmente adequada. Pesquisas vêm sendo desenvolvidas para que esse sistema tenha suas características e eficiência conhecidas e compreendidas.

Porém, poucas pesquisas foram realizadas para verificar a diferença entre tipo de geotêxtil tecido e não tecido e, também, suas características e eficiência no desaguamento de lodo de ETA em Leitos de Drenagem. Pesquisas foram conduzidas em sua maioria com geotêxtil não tecido de gramatura 600g/cm² (Cordeiro, 2001; Fontana; 2004; Barroso, 2007; Silveira, 2012 e Kuroda, 2015)

OBJETIVO

Avaliar a influência das propriedades físicas e hidráulicas de diferentes tipos de geotêxtil, tecidos e não tecidos, no desaguamento de lodo gerado em Estação de Tratamento de Água (ETA) em sistema natural aberto, denominado Leito de Drenagem (LD).

METODOLOGIA UTILIZADA

Para avaliar a influência das propriedades físicas e hidráulicas foram utilizados seis tipos diferentes de geotêxtil nesta pesquisa, sendo dois tecidos e quatro não tecidos, sendo os geotêxteis não tecidos de gramatura 300 g/m², 400 g/m², 500 g/m² e 600 g/m² e os tecidos com resistência a tração de 55 kN/m e 105 kN/m, conforme Tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Identificação dos geotêxtis.

Fabricante	Geotêxtil	GRAMATURA
OBER	GEFORT 100% PES /L. 2,30 / GR 400 - CIN (100% POLIESTER)	400 g.m ⁻²
OBER	GEFORT 100% PES /L. 2,30 / GR 600 - CIN (100% POLIESTER)	600 g.m ⁻²
OBER	GEFORT 100% PES /L. 2,30 / GR 500 - CIN (100% POLIESTER)	500 g.m ⁻²
OBER	GEFORT 100% PES /L. 2,30 / GR 300 - CIN (100% POLIESTER)	300 g.m ⁻²
HUESKER	BASETRAC ®WOVEN 55/55 UV	tecida
HUESKER	HaTe ® 105/105 DW	tecida

Os geotêxtis foram caracterizados quanto as propriedades físicas e hidráulicas de gramatura, espessura e permissividade. Assim, esta pesquisa pode ser dividida em duas etapas: caracterização dos geotêxtis e ensaio

de desaguamento em Leito de Drenagem em escala de bancada. Estas etapas permitiram avaliar e comparar a influência dos diferentes geotêxtis na fase de desaguamento de lodo de ETA.

Ensaio de desaguamento

Os ensaios de desaguamento, com lodo gerado em Estação de Tratamento de Água (ETA), foram realizados em escala de bancada, usando um sistema de Leito de Drenagem (LD), conforme Figura 1.



Figura 1 - Sistema de desaguamento (Leito de Drenagem) e medição de vazão utilizados nesta pesquisa.

Para a realização dos ensaios de desaguamento foram coletadas amostras de lodo na Estação de Tratamento de Água (ETA) de São Carlos (SP), que possui tecnologia de tratamento de água convencional de ciclo completo e utiliza sulfato de alumínio como coagulante. Todo lodo foi coletado diretamente do decantador com concentração de sólidos de 89,6 g.L⁻¹. Os desaguamentos em leitos de drenagem foram realizados com amostras preparadas com concentração de sólidos de 30,0 g.L⁻¹, altura de camada de lodo de 50cm, resultando em uma Taxa de Aplicação de sólidos de 15,0kg.m⁻², para atingir tal objetivo, água coletada diretamente do decantador da ETA foi acrescentada ao lodo até este atingir uma concentração de sólidos desejada.

O lodo foi aplicado em leitos de drenagem compostos por tubos de acrílico com diâmetros de 150mm preenchidos com brita no fundo, que serviu como suporte para os geotêxtis. A tipologia de leito foi escolhida de modo que só houvesse fluxo normal ao plano do geotêxtil estudado.

Grande amplitude de vazões foram observadas em ensaios preliminares e com o objetivo de medir com maior precisão as vazões drenadas, optou-se pela adoção de um sistema gravimétrico de medição das vazões. Para tanto, a vazão drenada foi conduzida até recipientes locados sobre balanças, os dados de variação de massa foram registrados a cada minuto do experimento com equipamento de aquisição de dados. Com a divisão entre a variação da massa em um intervalo de tempo (Δt), dividida pela massa específica da amostra (ρ), obtivemos a vazão média do intervalo Δt analisado.

Assim, foram medidas as vazões do drenado em função do tempo, conforme Equação 1.

$$Q = \Delta m \cdot \Delta t^{-1} \cdot \rho^{-1} \cdot A^{-1} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Q (L.min⁻¹.m⁻²) – Vazão em litros por minuto a cada m² de geotêxtil.

Δm (kg) – Variação da massa no intervalo de tempo Δt .
 ρ (g.cm⁻³) – Massa específica do drenado adotado como 1,0 g.cm⁻³.
 Δt (min) – Intervalo de tempo.
 A (m²) – Área de aplicação do lodo no geotêxtil.

O sistema com os leitos de drenagem, e equipamentos de medição de vazão, podem ser observados na Figura 1. Foram coletadas amostras do líquido drenado para a verificação de parâmetros como cor aparente, turbidez e pH nas primeiras três horas do início da drenagem, nos tempos de 1min, 10min, 30min, 60min, 120min e 180min. A medição destes parâmetros foi feita através de métodos preconizados pela APHA/AWWA/WEF (2001).

Ensaio para caracterização dos geotêxteis

Geralmente, os ensaios utilizados para caracterizar os geotêxteis podem ser divididos em quatro grupos: físicos, mecânicos, hidráulicos e de desempenho. Os ensaios físicos são necessários para a identificação do produto (gramatura e espessura). Dos mecânicos é possível obter parâmetros do comportamento carga-alongamento do material. Os ensaios hidráulicos, como permeabilidade, transmissividade e abertura de filtração, são pertinentes quando o geotêxtil terá função de drenagem ou filtração. Já os ensaios de desempenho são realizados com o geotêxtil inserido no ambiente com os materiais que ele entrará em contato, o que muda dependendo da obra e de sua utilização (COSTA et. al., 2008).

Segundo Freitas (2003), os geotêxteis tecidos são aqueles fabricados por processos de tecelagem em que há entrelaçamento ordenado das fibras em duas direções, em geral, em um ângulo de 90°. Os tricotados são obtidos através do entrelaçamento dos fios por tricotamento. Os geotêxteis não-tecidos, de acordo com Vertematti (2015), são aqueles fabricados através da interligação por processos mecânicos, térmicos ou químicos dos filamentos ou fibras com disposição aleatória. A Figura 2 ilustra os geotêxteis tecido e não tecido.

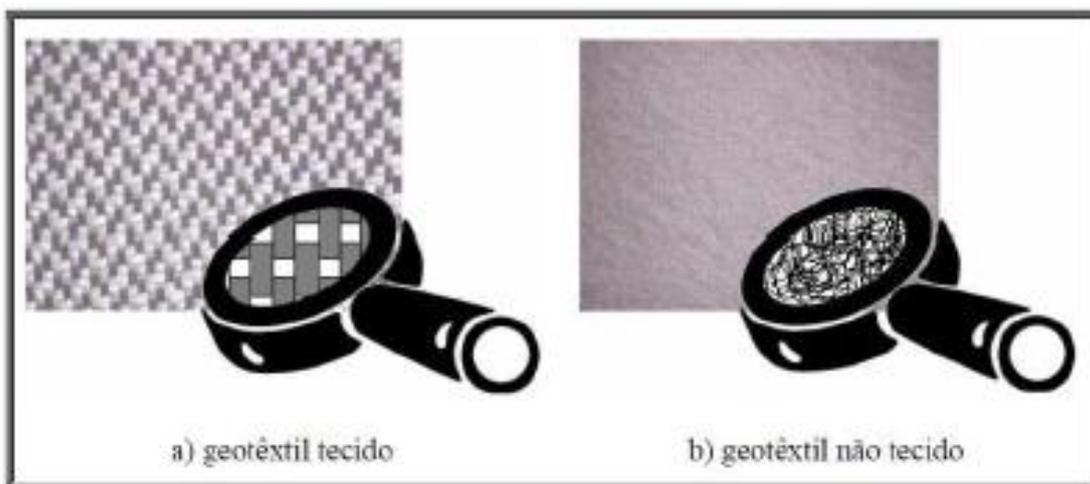


Figura 2: Arranjo estrutural dos geotêxteis tecido e não tecido

- **Gramatura (massa por área)**

O ensaio de gramatura foi feito de acordo com a NBR ISO 9864:2013, no qual foram ensaiados 10 corpos de prova de aproximadamente 100 cm² para cada tipo de geotêxtil, pesando-os em uma balança de precisão de

0,001 g e medindo-os com paquímetro de precisão 0,01 cm e de acordo com a Equação 2 foi obtida a gramatura média desse geotêxtil. Foram obtidos os resultados presentes na Tabela 2.

$$PA = m \cdot 10000.A^{-1}$$

Equação (2)

Onde:

PA (g/m²) – Massa por unidade m² de geotêxtil.

m (g) – Massa do corpo de prova.

A (cm²) – Área do corpo de prova.

- **Espessura**

A espessura dos geotêxteis foi determinada segundo a NBR ISSO 9863-1:2013, a qual foi obtida utilizando um relógio comparador de 0,01mm de precisão que mede a espessura do geotêxtil quando uma pressão de 2kPa era aplicado sobre ele por pelo menos 30 s. A partir desse ensaio foram obtidos os dados presentes na Tabela 2.

- **Permissividade**

O ensaio de permissividade foi realizado segundo as orientações contidas na ABNT NBR ISO 11058:2013. Inicialmente os corpos de prova foram saturados com água destilada, ficando no mínimo 12 horas mergulhados. Após esse período foram ensaiados no equipamento (Figura 3) no qual era aplicado um fluxo ascendente para encher o sistema, para que não houvesse formação de bolhas, e em seguida o sistema era esvaziado com a abertura de um registro, durante esse procedimento era cronometrado o tempo que 25 cm de carga d'água levavam para passar pelo geotêxtil. Esse procedimento foi realizado 10 vezes para cada um dos 5 corpos de prova de cada tipo de geotêxtil.



Figura 3: Equipamento utilizado no ensaio de permissividade

Os dados obtidos nesse procedimento foram utilizados na Equação 3 contida na norma americana ASTM D 4491 para que a permissividade fosse encontrada na unidade que permitisse a comparação com o catálogo, cujos valores estão dispostos na Tabela 2.

$$\Psi = [(a/A.t).\ln(h_0/h_1)].Rt$$

Equação (3)

Onde:

ψ (s⁻¹) – Permissividade.

a (mm²) – área de teste transversal do corpo de prova.

A(mm²) – área da seção transversal do tubo vertical acima do corpo de prova.

t(s) – tempo para a carga diminuir de h₀ para h₁.

h₁ (mm) – carga inicial.

h₀ (mm) – carga final.

Rt – fator de correção da temperatura.

RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de caracterização dos geotêxteis estão dispostos na Tabelas 2.

Tabela 2: Caracterização dos geotêxteis.

Tipo do geotêxtil	Gramatura (g/m ²)	Coefficiente de variação	Espessura (mm)	Coefficiente de variação	Permissividade (s ⁻¹)	Coefficiente de variação
300	269,79	10,02%	1,59	5,62%	1,572	5,14%
400	420,91	4,22%	2,78	3,80%	0,627	15,96%
500	468,80	6,28%	3,46	2,85%	0,923	5,73%
600	647,94	3,31%	4,01	3,23%	0,513	14,22%
55/55	251,09	1,42%	0,93	7,15%	0,162	16,57%
105/105	469,72	1,34%	1,74	1,41%	0,867	5,89%

As amostras de geotêxtil têm dimensões muito maiores que os corpos de prova ensaiados, o que gera ligeiras diferenças entre eles, expressas pelo coeficiente de variação apresentado. Em relação a gramatura, é visto que os geotêxteis tecidos apresentam maior uniformidade. Os geotêxteis não tecidos apresentaram coeficientes de variação menor conforme o aumento das gramaturas. Outra observação importante é que as gramaturas dos geotêxtil 500 e 105/105 são semelhantes, com aumento de menos de 1 g/m² da primeira para segunda.

Já em relação a espessura, o comportamento não apresenta uma tendência como a gramatura, porém todas as amostras apresentam coeficiente de variação menor que 8%, apresentando baixa variabilidade. É observado também que quanto maior a gramatura do geotêxtil, considerando as duas categorias separadamente, maior a espessura deste.

Além da variabilidade do próprio material, o ensaio de permissividade apresenta maior complexidade na execução e mais fatores externos que o influenciam, o que faz com que este apresente maiores coeficientes de variação, ou seja, as permissividades dos diferentes corpos de prova foram ligeiramente distintas, com coeficiente de variação de até 16,57%. A permissividade, em uma análise superficial, não está ligada aos parâmetros físicos estudados.

Com a finalidade de avaliar o comportamento dos parâmetros de qualidade e quantidade do drenado frente às distintas propriedades físicas e hidráulicas dos geotêxteis avaliados, foram confrontados os parâmetros de cor aparente, turbidez e vazão do drenado com os parâmetros de permissividade, gramatura e espessura dos geotêxteis. Os resultados podem ser observados nas Figuras 3, 4 e 5, sendo que os dados de turbidez e cor aparente estão expostos em escala logarítmica.



Figura 3: Comparativo dos parâmetros da drenagem versus gramatura do geotêxtil



Figura 4: Comparativo dos parâmetros da drenagem versus espessura do geotêxtil



Figura 5: Comparativo dos parâmetros da drenagem versus permissividade do geotêxtil

A partir dos gráficos é possível determinar uma relação direta entre as propriedades do geotêxtil e os parâmetros do desaguamento, também é possível observar que as vazões para os geotêxteis tecidos são maiores que para os geotêxteis não tecidos e, apesar de apresentarem gramatura e permissividade próximos, o comportamento hidráulico e capacidade de filtração dos geotêxteis 500 e 105/105 são distintos. Vale ressaltar que com o decorrer do tempo os parâmetros vão se igualando devido a formação do pré-filtro.

CONCLUSÕES

Embora tenham sido observadas diferenças significativas na qualidade e quantidade do drenado nos diferentes geotêxtis, não foi possível estabelecer uma correlação entre os parâmetros hidráulicos e físicos estudados nesse trabalho com os parâmetros relativos aos ensaios de desaguamento.

De maneira geral, observou-se uma aleatoriedade na medição dos dados de vazão e qualidade do drenado confrontados com os diferentes valores de espessura, gramatura e permissividade que são constantes e característicos de cada geotêxtil. Avaliando o geotêxtil tecido 105/105DW, que possui valores intermediários para os parâmetros físicos e hidráulicos avaliados, constatamos maiores valores iniciais de vazão, cor aparente e turbidez dentre os geotêxtis avaliados, valores estes que se estabeleceram em patamares semelhantes aos dos demais geotêxtis a partir da formação do pré-filtro de sólidos sedimentados sob os geotêxtis.

Observou-se que o efeito da formação do pré-filtro se sobrepõe ao parâmetro de permissividade dos geotêxtis, onde não foi possível observar maiores vazões em geotêxtis com maiores valores de permissividade, inclusive para as vazões observadas no primeiro minuto do desaguamento, onde o pré-filtro formado pela sedimentação dos sólidos do lodo sob o geotêxtil ainda não havia sido observado.

Embora não tenham sido observadas correlações para estes parâmetros característicos dos geotêxtis, fica evidente o comportamento distinto dos geotêxtes durante o desaguamento de lodo em LD. Essa diferença poderá ser explicada através de investigação das interações entre as partículas de sólidos com outras propriedades do geotêxtil, como transmissividade ou abertura de filtração.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq (Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro do projeto de Pesquisa/MCTI/CNPQ/Universal – Processo Nº 424639/2016-5.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1999). *Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity*. ASTM D 4491. ASTM International, Pennsylvania
2. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (2001). *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 20.ed. Washington DC, USA. 2001
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISSO 9863-1:2013 – Geossintéticos — Determinação da espessura a pressões especificadas Parte 1: Camada única. Rio de Janeiro, 2013, 5p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10.004:2004. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004, 77p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISSO 9863-1:2013 – Geossintéticos — Determinação da espessura a pressões especificadas Parte 1: Camada única. Rio de Janeiro, 2013, 5p.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISO 9864:2013 – Geossintéticos Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxtes e produtos correlatos. Rio de Janeiro, 2013, 2p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISSO 11058:2013 - Geotêxtes e produtos correlatos — Determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento. Rio de Janeiro, 2013, 18p.
8. BARROSO, M.M. Influência das micro e macro propriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por leito de drenagem. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007, 249p.

9. CORDEIRO, J.S. (2001) Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In.: ANDREOLI, C.V. et al. Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB.
10. COSTA, C. M. L.; LODI, P. C.; COSTA, Y. D. J.; BUENO, B. S. Avaliação de recomendações normativas sobre o uso de ensaios no controle de qualidade de fabricação de geossintéticos. In.: Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, 2008, p. 158-169.
11. Di BERNARDO, L.; Di BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: RiMa, 2002.
12. FONTANA, A.O. (2004) 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. 161 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos.
13. FREITAS, R. A. S. Comportamento de geotêxteis como filtro em resíduos – fosfógeno e lama vermelha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003, 131p.
14. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010
15. KURODA, E.K.; SILVEIRA, C.; MACEDO, J.G.; LIMA, M.S.P.; KAWAHIGASHI, F.; BATISTA, A.D.; CESÁRIO, S.M.C.P.S.; FERNANDES, F. (2014) Drenagem / secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil. Revista DAE, n.194, p. 24-34.
16. SANTOS, B. Avaliação da aplicação do sistema de Leito de Drenagem como tratamento de lodo da estação de tratamento de água Bom Jardim em Uberlândia – MG. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
17. SILVEIRA, C. (2012). Desaguamento de lodos de Estações de tratamento de águas por leito de drenagem / secagem com manta geotêxtil. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, 137 p., 2012.
18. VERTEMATTI, J. C. Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: Blucher, 2015, 2ª ed., 576 p.