

ISBN 978-65-00-22350-7

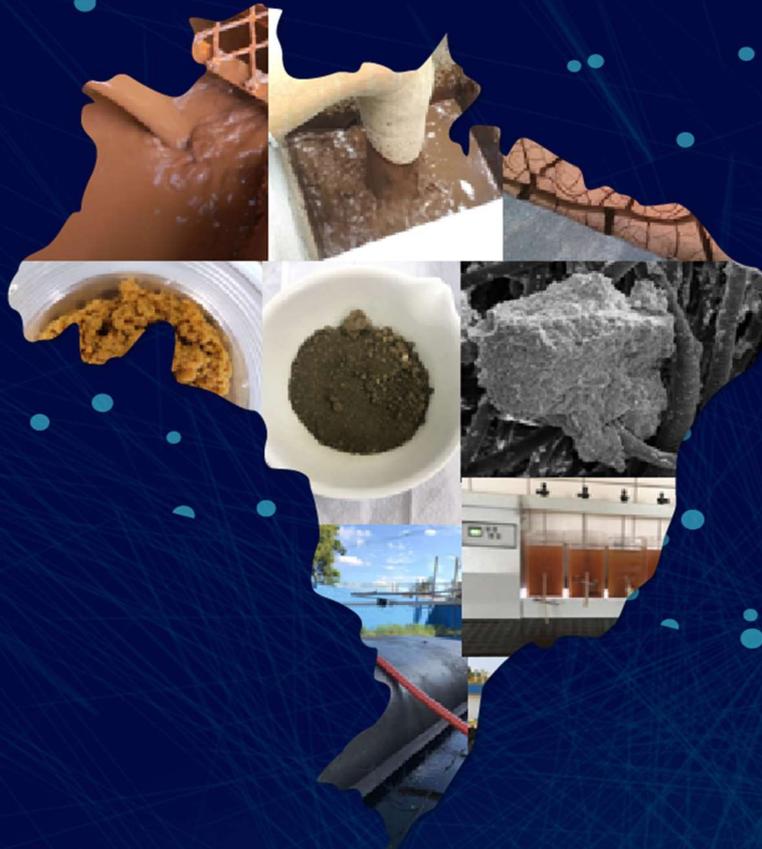
<https://www.doi.org/10.28927/2021.leta-1>



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA



Online

17 a 19 de junho de 2021

Editor-chefe: Delma Vidal



unesp

USP



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Realização: ITA/UNESP/USP



Apoio:





# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

## Conteúdo

Prefácio

Comissão Organizadora

Corpo revisor

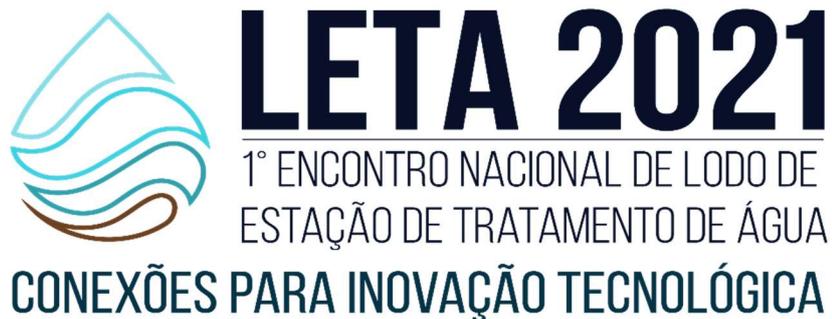
Palestras

Sumário

Resumos Expandidos

Índice de Autores

Agradecimentos



## Prefácio

O 1º. Encontro Nacional de Lodo de Estações de Tratamento de Água, LETA2021, tem por objetivo estabelecer conexões entre pesquisadores, estudantes e profissionais das diversas áreas do conhecimento e regiões do país, que tenham envolvimento com a temática, buscando estimular a comunicação e o debate transdisciplinar.

O evento começou com um grupo de pesquisadores do ITA, UNESP e USP, que sentiu a necessidade de buscar contato com outros pesquisadores e profissionais que trabalham com lodo de ETA. Desde a primeira reunião, o grupo foi crescendo e muito rapidamente a sugestão inicial de uma simples Mesa Redonda foi ampliada para um Encontro Nacional, organizado em apenas 4 meses. Graças ao empenho do grupo que formou a Comissão Organizadora, o LETA2021 foi formatado para ser um evento que irá marcar a gestão do lodo produzido por ETAs no país.

Com uma configuração um pouco diferente da tradicional, estruturado apenas por voluntários, sem aporte de recursos financeiros, e transmissão pelo canal Geotecnia Brasil no YouTube, foi possível promover um evento inteiramente online, com inscrição gratuita, acessível a todos os interessados e com potencial para atingir os 5 570 municípios do país.

A reunião de pesquisadores e profissionais das áreas de saneamento, geotecnia, materiais e meio ambiente, atuando nos temas escolhidos: Caracterização, Usos Benéficos, Técnicas e Tecnologias de Desaguamento, Impacto Ambiental e Disposição Final e Tecnologias de Desaguamento, e a formatação do evento, têm o potencial de facilitar a conexão entre os diferentes temas e as diferentes áreas do conhecimento.

Os anais do evento, com os 49 resumos expandidos, aceitos para publicação após revisão criteriosa do corpo revisor, trazem contribuições de todas as regiões do país e estarão disponíveis para download a todos os que se interessem pelos temas discutidos.

Comissão Organizadora do LETA2021



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

**CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**

## **Comissão Organizadora**

Andrea Sartori Jabur (UTFPR)

Delma de Mattos Vidal (ITA)

Denise de Carvalho Urashima (CEFET MG)

Fabiana Fiore (UNESP)

Iara Regina Soares Chao (SABESP)

Jefferson Lins da Silva (EESC – USP)

João Sérgio Cordeiro (UFSCar/Allevant)

José Antonio Schiavon (ITA)

Juliana Guerra Sgorlon (UTFPR)

Maria Eugênia Gimenez Boscov (EP - USP)

Mag Geisielly Guimarães (CEFET-MG)

Paulo Scarano Hemsí (ITA)

Rosane Freire Boina (UNESP)

Vivian Bardini (UNESP)

### **Núcleo Jovem**

Ana Carolina Brants Menezes (UNESP)

André Querelli (Geotecnia Brasil)

Gabriel Luis A.Oliveira (ITA)

João Pedro Batista (ITA)

Juliana Keiko Tsugwa (EPUSP)

Juscimara Rodrigues (UNESP)

Lucas Rodrigues Belotti (UNESP)

Maria Alejandra Aparicio Ardila (EESC-USP)

Mariane Borges Gheller (UFTPR)

Matheus Muller (ITA)

Tiago de Jesus Souza (Geotecnia Brasil)



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

## Corpo Revisor

Agda Eunice de Souza (FCT UNESP)  
Andrea Sartori Jabur (UTFPR)  
Angela Di Bernardo Dantas (Hidrosan Engenharia)  
Cali Achon (UFSCAR)  
Delma de Mattos Vidal (ITA)  
Denise de Carvalho Urashima (CEFET MG)  
Dione Mari Morita (USP)  
Elisabeth Ritter (UERJ)  
Fabiana Fiore (UNESP)  
Gabriel Luis A.Oliveira (ITA)  
Iara Regina Soares Chao (SABESP)  
Jefferson Lins da Silva (EESC – USP)  
João Cláudio Bassan de Moraes (ITA)  
João Sérgio Cordeiro (UFSCar/Allevant)  
José Antonio Schiavon (ITA)  
Juliana Guerra Sgorlon (UTFPR)  
Mag Geisielly Guimarães (CEFET-MG)  
Marcelo Melo Barroso (Instituto Abraço-UFRO)  
Márcio Pimentel (ITA)  
Maria Alejandra Aparicio Ardila (EESC USP)  
Maria Eugênia Gimenez Boscov (EP - USP)  
Paulo Scarano Hemsli (ITA)  
Paulo Henrique S.Almeida (UFMT)  
Paulo Scalize (UFG)  
Priscila Aléssio Constantino (FCT UNESP)  
Rafael Oliveira Defendi (UTFPR)  
Rafael Kopschitz X. Bastos (UFV)  
Renan Felício dos Reis (IFSP)  
Ricardo Isaac (UNICAMP)  
Rosane Freire Boina (UNESP)  
Roselene Maria Schneider (UFMT)  
Rubia Michele Suzuki (UTFPR)  
Thiago Moraes de Castro (UTFPR)  
Valquiria Aparecida dos Santos Ribeiro (UTFPR)  
Vivian Bardini (UNESP)



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

## Palestras do dia 17 de junho 2021

### **Características e aplicações do lodo de ETA em Portugal**

António Albuquerque (Univ.Beira Interior - UBI- Portugal)

### **Micro e Macropropriedades de LETAs**

Marcelo Barroso (Instituto Abraço e UFRO)

### **Caracterização de lodo de ETA: utilização na indústria cerâmica vermelha**

Silvio Rainho Teixeira (FCT UNESP)

### **Múltiplas caracterizações de LETAs para o manejo e destinação sustentável**

Fabiana Fiore (UNESP)/Juliana Tsuwaga (EPUSP)

### **Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação voltadas ao Setor de Saneamento**

Cristina Knörich Zuffo (SABESP)

### **Viabilidade do uso de lodo de ETA combinado com lodo de ETE para produção de mudas florestais**

Elisabeth Ritter (UERJ)

### **Lodo de ETA: lições aprendidas e perspectivas**

Dione Mari Morita (EPUSP)

### **Utilização de LETA em obras geotécnicas**

Maria Eugenia Gimenez Boscov (EPUSP)

### **Aspectos legais e ambientais do uso de lodo de Estação de Tratamento de água**

Eduardo Mazzolenis de Oliveira ( CETESB)

Disponíveis em: <https://www.youtube.com/watch?v=Dd3UoXhDn7A>

## Palestras do dia 18 de junho 2021

### **Redução da geração de lodo**

João Sergio Cordeiro (UFSCar/Allevant Educação)

### **Manejo operacional de limpeza e geração**

Antonio Domingues Benetti (IPH/UFRGS)

### **Os riscos decorrentes da recirculação direta da água de lavagem dos filtros em ETA de ciclo completo**

Ângela Di Bernardo Dantas (Hidrosan Engenharia)

### **Soluções para manejo dos lodos gerados em estações de tratamento de água**

Paulo Sérgio Scalize (UFG)

### **Experiência prática no desenvolvimento de projetos de UTR**

Marcos Rocha Vianna(UFMG e Bloom Consultoria)

### **Considerações sobre a co-disposição de lodos em aterros sanitários**

José Fernando Jucá (UFPE)

### **Lodo de ETA – características e alternativas de disposição final**

Cleverson Andreoli (ISAE/FGV-CEAConsultoria)

### **Tratamento, transporte e destinação final de lodo de ETA: aspectos técnicos, econômicos e não-econômicos**

Ricardo de Lima Isaac (UNICAMP)

Disponíveis em: <https://www.youtube.com/watch?v=D2SBxoZRq-c>

## Palestras do dia 19 de junho 2021

### **Electrokinetic dewatering of sludge**

Colin Jones (Newcastle University - Inglaterra)

### **A importância das características da água bruta na eficiência do desaguamento de lodo de ETA em geotêxtil**

Luiz Di Bernardo (Hidrosan Engenharia)

### **Desaguamento em Leito de Drenagem (LD): sistema natural aberto para drenagem e secagem de lodo de ETA**

Cali Laguna Achon (UFSCar)

### **Desaguamento em SCRs em geotêxtil**

Delma M.Vidal (ITA)/Denise C.Urashima (CEFET-MG)/Jefferson Lins da Silva (EESC-USP)

### **Taiapuêba usa solução completa**

Magda Hirsch Carvalho (SABESP)

Disponíveis em: <https://www.youtube.com/watch?v=NiFiIAF8ejo>

## SUMÁRIO

RE	TEMA: CARACTERÍSTICAS	pg
1	Amostragem representativa do lodo de ETA: uma ferramenta para diminuir a variabilidade dos resultados de ensaios TSUGAWA, J. K.; BOSCOV, M. E. G.	1
2	Análise de misturas de lodo de ETA com solo siltoso da região de Santa Maria, RS SCAPIN, J.; SANTOS, E. F.; PINHEIRO, R. J. B.	6
3	Avaliação da qualidade da água bruta e caracterização do resíduo gerado na ETA Piracanjuba ANGELIM, S. C. M.; SCALIZE, P. S.; ANGELIM, R. R.	10
4	Avaliação de atividade pozolânica em resíduo de ETA ARAUJO, F. C.; SCALIZE, P. S.; ALBUQUERQUE, A.	15
5	Características químicas do lodo da ETA de Cubatão, São Paulo HIGASHI, R. J. A.; CAMARGO, I. M. C.; BOSCOV, M. E. G.	18
6	Caracterização de lodo de tratamento de água para abastecimento através de sistema de eletroflotofiltração (SEFF) AGUIAR, T. D.; SCALIZE, P. S.	21
7	Caracterização do LETA da ETA Santa Bárbara (Pelotas, RS) SAMPAIO, D. M.; MENDES, K. G. P.; NEITZEL, L. H.; GONÇALVES, C. V. C.	24
8	Caracterização do lodo das ETAs Cubatão e Taiaçupeba e seu comportamento em misturas com solo MONTALVAN, E. L. T.; BOSCOV, M. E. G.	28
9	Estado da arte: Lodo de estação de tratamento de água no Brasil FREIRE-BOINA, R.; BELLOTTI, L. R.	31
10	Influência das Micro e Macropropriedades no Desaguamento e Reúso dos LETAs BARROSO, M. M.; ACHON, C. L.; CORDEIRO, J.S.	35
11	Interpretação de um índice físico para caracterização de lodo gerado em ETA: teor de umidade FERREIRA, G. O.; ACHON, C. L.; TAKEDA, M. C.; MINATEL, M. M.	39
12	Parâmetros de interferência na tratabilidade do lodo de Estações de Tratamento de Água PAFFRATH, S. F.; ETCHEPARE, R. G.	43
13	Teor de sólidos e manejo de LETA de diferentes tecnologias de tratamento MARTINS JÚNIOR, A.C.O.; REINA, V.P.; DE SOUZA, F.B.; SILVA, M.C.A.; BENETTI, A.D.	46

RE	TEMA: USOS BENÉFICOS	pg
14	Adição de Cal a um Lodo de ETA Visando Melhoria da Resistência para Uso em Cobertura Diária de Aterros Sanitários SILVA, A. DOS S.; HEMSI, P. S.	50
15	Avaliação da substituição de cimento e areia por lodo de ETA na fabricação de matrizes de concreto GHELLER, M. B.; SGORLON, J. G.; GOMES, M. C. S.; OLIVEIRA, M. H. L.	54
16	Avaliação do potencial de utilização de resíduo de ETA como impermeabilizante de obras de terra para a contenção de resíduos MARCHIORI, L.; STUDART, A.; MORAIS, M.; ALBUQUERQUE, A.; CAVALEIRO, V.	58
17	Contribuições para definição de parâmetros de mistura para o processo de recuperação de coagulante SILVA, B.M.R.; BASTOS, R.K.X.; GODINHO, T.J.D.	61
18	Estudo piloto do uso do lodo de ETA's em argamassas SANTOS, M. D.; CARNEIRO, A. M. P.	65
19	Isotermas de adsorção de fósforo em lodo férrico CHAVES, V. T.; CONTRERA, R. C.; CHAO, I.R.S.; MORITA, D.M.	69
20	Possibilidades de aplicações do Lodo de ETA na Pavimentação SOUZA, L. S.; SANTOS, T. C. C.; RIBEIRO, A. G. C.	73
21	Remoção de Corante Reativo Aplicando Lodo de ETA como Adsorvente. BORBA, A. L. A.; FREIRE, R.; RIBEIRO, V. A. S.	77
22	Uso do lodo da ETA UFV na composição de massa cerâmica líquida (barbotina) de grês para cerâmica artística CABRAL, V. A. L.; BASTOS, R. K. X.	81
23	Viabilidade da utilização do lodo de ETA na produção de mudas florestais CRUZ, C. L. B. M. DA; SANTOS, A. S. P.; RITTER, E.	85

RE	<b>TEMA: TÉCNICAS E TECNOLOGIAS DE MANEJO</b>	pg
24	Análise Técnico-Financeira de alternativas de processo de desidratação de lodos de ETA FROTA, T. B.; GEHLING, G. R.; DA SILVA, S. W.	89
25	Avaliação de métodos de previsão de geração de LETA MARQUES, D. G.; REIS, R. F.; FELICIO, M. C.	92
26	Comparação de estimativas para geração lodo em decantadores OLIVEIRA, G.L.A.; CRUZ, D. B. ; VIDAL, D.M.	96
27	Ocorrência de contaminantes de preocupação emergentes em sobrenadante de lagoa de sedimentação de lodo de ETA ARRUDA, P. N.; SCALIZE, P. S.; SANSON, A. L.; ALVES, M.; AQUINO, S. F.	100
28	Tratamento (beneficiamento) e caracterização de lodo de ETA para uso em cerâmica CABRAL, V. A. L.; BASTOS, R. K. X.	104
29	Tratamento de LETA com regeneração de coagulante e uso em cerâmica MORAES, L. H. L.; MAZZA, C. F.; FREITAS, de C. F.	108

RE	<b>TEMA: IMPACTO AMBIENTAL E DISPOSIÇÃO FINAL</b>	pg
30	Análise bibliométrica: Lodo em estações de tratamento de água VASCONCELOS, A.D. C.; VASCONCELOS, A. R. C.; ANDRADE, M. V. F.; GOMES, F. B. M.	113
31	Confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento com incorporação de lodo de estação de tratamento de água: Estudo de caso na cidade de Apucarana-PR SOARES, R. V.; JABUR, A. S.; LUIZ, A. M. F.	117
32	Destinação ambientalmente adequada de LETA: Análise científica e prática SILVA, L. R.; ACHON, C. L.; ISAAC, R. L.	120
33	Estimativa da geração de lodo das estações de tratamento de água em Pernambuco BAYDUM, V.P.A.; ALVES, S.R.A.; PRADO, A.G.; SANTANA, J.E.; LEMES, F.	124
34	Impactos gerados pelo alumínio no descarte do lodo de estação de tratamento de água ARAUJO, M. P.; EL-DEIR, S. G.; TAVARES, R. G.	128
35	Lodo gerado nas estações de tratamento de água da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul PEREIRA, R. O.; DUTRA, M. S.	132
36	Quantificação do lodo gerado de decantadores da ETA de Guaratinguetá MENDES, P. R. A.; BARROS, A. C. T.	136



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

RE	TEMA: TECNOLOGIAS DE DESAGUAMENTO	pg
37	Avaliação de métodos de desaguamento de LETA – ETA Santa Bárbara (RS) SAMPAIO, D. M.; MENDES, K. G. P.; NEITZEL, L. H.; GONÇALVES, C. V. C.	140
38	Comparativo de desaguamento em ensaio piloto entre bolsas geotêxteis com e sem drenagem vertical MÜLLER, M.; VIDAL, D. M.; GUANAES, E. A.; FREITAS, M. R.	144
39	Desaguamento de lodo de decantador em sistemas de confinamento de resíduos (SCRs) fabricado em geotêxtil não tecido: Ensaio piloto APARICIO ARDILA, M.A.; PATRIZZI, L.J.; LINS DA SILVA, J.	148
40	Desaguamento de lodos de ETAs: experiências bem-sucedidas com implantação de leito de drenagem FONTANA, A. O.; CORDEIRO, J. S.; ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; REIS, R. F.	151
41	Ensaio controlados de desaguamento de lodo de ETA em leitos de drenagem: influência da altura da camada de lodo MINATEL, M. M.; ACHON, C.L.; SILVA, G. M. P.; REIS, R. F.	155
42	Estudo de Geossintéticos no desaguamento de Lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Guaratinguetá - SP FONSECA, R. S. C.; MOTTA, M. F. B.; MULLER, M.	159
43	Evolução do teor de sólidos de lodo de ETA após desaguamento em tubos geotêxteis não tecidos SOUZA, S. T.; APARICIO ARDILA, M. A.; LINS DA SILVA, J.	163
44	Influência de geotêxteis não tecidos no desaguamento de lodo de ETA usando leito de drenagem SILVA, G. M. P.; MINATEL, M. M.; ACHON, C. L.; REIS, R. F.	166
45	Leitos de drenagem cobertos e sua eficiência em desaguamento de LETA REIS, R. F.; ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S.	170
46	Lodo de ETA e o desenvolvimento de mudas de vegetação nativa FIGUEIREDO, E. B.; FREIRE BOINA, R.	174
47	O desafio do tratamento de lodo de uma ETA de 1100 L/s ECHUDE S.; LERMONTOV, A.	177
48	Sistema de confinamento de resíduos: estudo de caso lodo de ETA URASHIMA, D. C.; DE FARIA, A. P. M.; GUIMARÃES, M. G. A.; URASHIMA, B. M. C.; MÜLLER, M.	180
49	Uso de geotêxtil no desaguamento de resíduos gerados em estações de tratamento de água OLIVEIRA, M. D.; TONON, B. S.; CALIARI, D. N.; CAMPOS, K.	185



# RESUMOS EXPANDIDOS

## **AMOSTRAGEM REPRESENTATIVA DO LODO DE ETA: UMA FERRAMENTA PARA DIMINUIR A VARIABILIDADE DOS RESULTADOS DE ENSAIOS**

*Juliana Keiko Tsugawa, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, jukeiko@usp.br*

*Maria Eugênia Gimenez Boscov, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, meboscov@usp.br*

**Palavras Chave:** Lodo de ETA, Amostragem representativa, Material Geotécnico, Reuso, ANOVA.

### **1. INTRODUÇÃO**

No Brasil, grande parte do lodo de estação de tratamento de água (lodo de ETA) é descartada em rios e córregos. O reuso do lodo de ETA como um material geotécnico, em substituição parcial ou total do solo natural, é uma alternativa sustentável para redução dos impactos ambientais advindos de sua destinação incorreta. A caracterização do lodo abrangendo diversas situações de aplicação é essencial para seu reuso. Porém, as características do lodo são muito variáveis entre as ETAs e, também, sazonalmente na mesma ETA. Isto se deve à geologia local e regional, qualidade da água bruta, tipo e quantidade de coagulante e substâncias químicas usadas no tratamento da água, processo de lavagem dos tanques e filtros da ETA, processo de desaguamento do lodo, etc. (HSIEH; RAGHU, 1997; YUZHU, 1996). Além da própria heterogeneidade do lodo, os procedimentos de amostragem também podem causar significativa variação dos resultados de ensaios. Por outro lado, o reuso do lodo como material geotécnico deve ser baseado na determinação de parâmetros físicos, químicos e mecânicos confiáveis. O procedimento de amostragem mais comumente utilizado no campo e no laboratório, o “*grab sampling*” (método fácil e rápido de se coletar um material através da colherada no topo do saco ou container de armazenamento sem nenhum critério técnico), pode causar grande variação de resultados (PETERSEN; MINKKINEN; ESBENSEN, 2005), principalmente, para materiais com alta umidade e que segregam facilmente como os lodos de ETA. Uma ferramenta capaz de eliminar as variações de resultados provenientes de erros de amostragem, distinguindo-as das reais variações das

características do lodo, é a amostragem representativa baseada na “*Theory of Sampling (TOS)*”. TOS é uma importante ferramenta para diversas áreas (ANGULO; MUELLER, 2009; FRANÇOIS-BONGARÇON, 2004; ROBINSON, 2004). Porém, até o momento não foram encontradas na literatura discussões sobre amostragem representativa de lodo além da apresentada por Tsugawa et al. (2019).

Este resumo apresenta os principais conceitos e procedimentos baseados na TOS (GY, 1999; MINKKINEN, 2004; PETERSEN; DAHL; ESBENSEN, 2004; PETERSEN; MINKKINEN; ESBENSEN, 2005) reunidos pelos autores na forma de “Instruções”, utilizadas para elaborar a estratégia de amostragem representativa do lodo da ETA Cubatão apresentada por Tsugawa et al. (2019). Adicionalmente, apresenta um exemplo do efeito do método de amostragem (*grab sampling* X TOS) na variabilidade de resultados de umidade do lodo da ETA Cubatão.

### **2. INSTRUÇÕES BASEADAS NA TOS PARA ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE AMOSTRAGEM REPRESENTATIVA**

As Instruções descritas abaixo fazem parte da metodologia de amostragem representativa aplicada ao lodo da ETA Cubatão que será detalhadamente descrita em (TSUGAWA, 2021).

Instrução 1: Caracterizar as heterogeneidades do lodo (composição química, densidade das partículas, distribuição granulométrica, etc.).

Instrução 2: Conhecer como o componente crítico (componente de interesse: massa, volume, concentração de substâncias química, etc.) varia ao longo do tempo (variograma).

Instrução 3: Conhecer a dimensionalidade do lote (material total que será amostrado: barril, pilha, caçamba, etc.): 0-D (totalmente homogêneo ou quando todo o lote é tomado como amostra), 1-D (formato alongado, coleta em uma esteira transportadora), 2-D (altura muito menor que as outras dimensões, plano) ou 3-D (pilha).

Instrução 4: A TOS considera apenas lotes 1-D. Portanto, converter lotes 2-D ou 3-D em um 1-D passando todo o lote através de uma esteira transportadora para realizar a amostragem, se possível.

Instrução 5: Quanto maior a massa da amostra obtida do lote, maior sua representatividade.

Instrução 6: A massa mínima que garante a representatividade da amostra ( $M_s$ ) é calculada através da Eq. 1.

$$M_s = \frac{Cd^3}{s_0^2} \quad (1)$$

Onde, ( $s_0^2$ ): variância aceitável; C: constante de amostragem ( $C=c.f.g.\beta$ ;  $g/cm^3$ ); d: dimensão (cm) do fragmento (partícula, grão, mineral ou fragmento separável do lote) mais grosseiro do material; f: fator de forma ( $f=1$ -partícula quadrada,  $f=0,5$ -esferoidal e  $f=0,1$ -placa); g: fator de distribuição granulométrico ( $g=0,25$ -bem graduada,  $g=1$ -uniforme);  $\beta$ : fator de liberação ou soltura da partícula de interesse ( $\beta=1$ -totalmente solta ou  $\beta=L/d$ ; L: dimensão da partícula da matriz que contém a partícula de interesse e d: dimensão da partícula de interesse); c: fator de constituição ( $g/cm^3$ ):  $c = \frac{(1-\frac{\alpha_L}{\alpha})^2}{\frac{\alpha_L}{\alpha}} \rho_c + (1 - \frac{\alpha_L}{\alpha}) \rho_m$  ( $\alpha_L$ : concentração do componente crítico no lote em kg/kg;  $\alpha$ : concentração do componente crítico na partícula de interesse em kg/kg;  $\rho_c$ : densidade da partícula de interesse em  $g/cm^3$ ;  $\rho_m$ : densidade da matriz em  $g/cm^3$ ).

Instrução 7: Reduzir o tamanho das partículas para obter uma variância aceitável, se necessário.

Instrução 8: Uma amostragem é sempre um processo de redução de massa.

Instrução 9: Homogeneizar o lote ou amostra muito bem e por um tempo mais longo que o usual antes de qualquer amostragem.

Instrução 10: Obter amostras representativas através da amostragem composta.

Instrução 11: Reduzir o tamanho dos incrementos o quanto possível, garantindo que todos possuam

o mesmo tamanho e, aumentar o número de incrementos, garante maior representatividade.

Instrução 12: Escolher ferramentas e equipamentos de amostragem que garantam maior representatividade (MINKKINEN, 2004). Porém, não foram encontrados equipamentos adequados para o lodo de ETA e, portanto, a metodologia resumidamente descrita em Tsugawa et al. (2019) foi realizada.

Instrução 13: Extrair os fragmentos ou incrementos aleatoriamente a partir do lote.

### 3. MATERIAIS

O lodo investigado é proveniente da lavagem de tanques e filtros da ETA Cubatão, e foi coletado diretamente das centrífugas de desaguamento. A ETA Cubatão utiliza cloreto férrico como coagulante e produz 60-70 t/dia de lodo, atualmente disposto em um aterro de resíduos. A Tabela 1 apresenta a faixa de variação das características geotécnicas do lodo Cubatão (FERREIRA et al., 2019; MONTALVAN et al., 2019; PEREIRA; TSUGAWA; BOSCOV, 2018; SILVA; HEMSI, 2018; TSUGAWA; PEREIRA; BOSCOV, 2017; TSUGAWA et al., 2019b).

Tabela 1. Características geotécnicas do lodo Cubatão.

Parâmetros	Lodo da ETA Cubatão
Umidade, w (%)	232-350
Concentração de sólidos, SC (%) <sup>1</sup>	20-30
Limite de liquidez, LL (%) <sup>2</sup>	160-239
Limite de plasticidade, LP (%) <sup>3</sup>	71-126
Índice de plasticidade, IP (%)	35-158
USCS	MH
Densidade específica dos grãos ( $g/cm^3$ ) <sup>4</sup>	2,9-3,2
Argila (%) <sup>5</sup>	58-70
Silte (%) <sup>5</sup>	24-32
Areia (%) <sup>5</sup>	6-14
$w_{otima}$ (%) <sup>6</sup>	37-38
$\gamma_{d\ max}$ ( $g/cm^3$ ) <sup>6</sup>	1,4

<sup>1</sup>  $SC = \frac{1}{1+w}$ ; <sup>2</sup> ABNT NBR 6459; <sup>3</sup> ABNT NBR 7180; <sup>4</sup> ABNT NBR 6508; <sup>5</sup> ABNT NBR 6502; <sup>6</sup> ABNT NBR 7182, com reuso e secagem prévia do material até a umidade higroscópica.

Ensaios de fluorescência e difratometria de raios X indicaram presença de quartzo, goetita, muscovita, caulinita e amorfos, além de alta

concentração de ferro (47,5%), sílica (18,6%) e alumínio (10,1%). Possui pH 7, resistência não drenada (Su) de 1,3 kN/m<sup>2</sup> (Vane miniatura), é tixotrópico (TSUGAWA; PEREIRA; BOSCOV, 2017) e pseudoplástico para baixas taxas de cisalhamento (TSUGAWA et al., 2019b). As partículas do lodo aumentam com a secagem (fração areia e pedregulho), como também observado por (BASIM, 1999; HSIEH; RAGHU, 1997; RODRIGUEZ et al., 2011; WATANABE et al., 2011; XIA, 1994), provavelmente, devido a presença do cloreto férrico e conseqüente fenômenos de superfície que aglomeram as partículas. A curva de compactação obtida a partir do ramo seco apresenta um formato parabólico, igual à de solos naturais, enquanto, a curva do ramo úmido não apresenta pico e a densidade seca cresce com a diminuição da umidade.

#### 4. MÉTODOS

Para avaliar a influência do método de amostragem nos resultados de umidade, duas amostras do lodo Cubatão foram aleatoriamente coletadas na ETA Cubatão em dias diferentes (22/05 e 29/11/2017), acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em câmara úmida. No laboratório, 12 amostras “grab” (amostra coletada sem critério) e 12 “TOS” (amostras coletadas baseadas na TOS) foram coletadas para a realização dos ensaios de umidade obtida por secagem em estufa a 105°C por 12 horas. Os resultados obtidos para a amostra do dia 29/11 foram apresentados em Tsugawa et al. (2019), inclusive com a análise estatística dos resultados através do método ANOVA.

#### 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se que ambas as amostras de lodo apresentam umidades bastante diferentes, sendo do lodo coletado em 29/11 maior que o coletado em 22/05. Este fato pode estar relacionado ao funcionamento das centrífugas, à quantidade de coagulante utilizado, à possível perda de umidade da amostra de 22/05 durante o armazenamento, além de outros fatores.

Os resultados de umidade obtidos pela “grab sampling” são mais dispersos que aqueles obtidos pela TOS (Figura 1). Além disso, os resultados de umidades obtidos pela “grab sampling” são maiores que os obtidos pela amostragem TOS, independentemente da data de coleta. Estes resultados são coerentes com o observado no laboratório. O lodo Cubatão segrega em duas fases quando em repouso (líquido e sólido), sendo observado que o líquido se move e acumula nas bordas e topo da amostra. Assim, como a amostragem “grab” foi realizada a partir de colheradas no topo da amostra sem ter sido realizada nenhum processo de homogeneização, é de se esperar a maior umidade obtida.

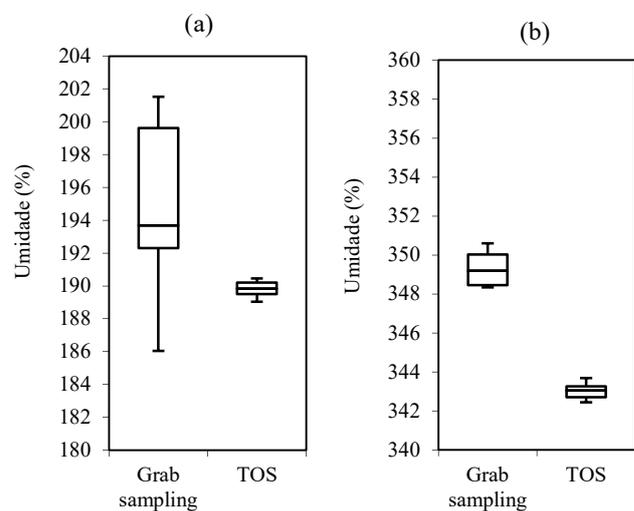


Figura 1. Influência do procedimento de amostragem nos resultados de umidade: (a) amostra de 29/05/17 (Autores); (b) amostra de 29/11/17 (Tsugawa et al., 2019).

#### 6. CONCLUSÕES

As Instruções resumem os principais conceitos e procedimentos para elaboração de um plano de amostragem representativa. Os valores de umidade obtidos pela amostragem TOS, realizada seguindo as Instruções aqui descritas, são menos dispersos e representam com maior precisão a média do valor da umidade do lote. A amostragem tipo “grab” deve ser evitada, já que pode produzir resultados imprecisos e tendenciosos.



## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPESP (Projeto 2013/50448-8) e a SABESP por financiarem o projeto de pesquisa, ao CNPq pela bolsa de doutorado e, ao Prof. Dr. Sérgio C. Ângulo da EPUSP/USP pelas discussões sobre amostragem representativa.

## REFERÊNCIAS

- ANGULO, S. C.; MUELLER, A. Determination of construction and demolition recycled aggregates composition, in considering their heterogeneity. **Materials and Structures**, v. 42, p. 739–748, 2009. DOI: 10.1617/s11527-008-9417-3.
- BASIM, S. C. **Physical and geotechnical characterization of water treatment plant residuals**. 1999. New Jersey Institute of Technology, 1999.
- ESBENSEN, K. H. 50 Years of Pierre Gy's "theory of Sampling" - WCSB1: A tribute. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 74, n. 1, p. 3–6, 2004. DOI: 10.1016/j.chemolab.2004.06.005.
- FERREIRA, K. S. M.; MONTALVAN, E. T. L.; SAWATANI, T. F.; BOSCOV, M. E. G. Influência da Secagem nos Parâmetros de Resistência à Compressão Simples de Misturas Compactadas de Solos Lateríticos com Lodo de ETA. *In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL 2019, Anais*, p. 353–360.
- FRANÇOIS-BONGARÇON, D. Theory of sampling and geostatistics: An intimate link. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 74, n. 1, p. 143–148, 2004. DOI: 10.1016/j.chemolab.2004.03.015.
- GY, Pierre. **Sampling for analytical purposes**. Willey, 1999.
- HISIEH, H. N.; RAGHU, D. **Criteria development for water treatment plant residual monofill**. AWWA - American Water Works Association, 1997.
- MINKKINEN, P. Practical applications of sampling theory. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 74, n. 1, p. 85–94, 2004. DOI: 10.1016/j.chemolab.2004.03.013.
- MONTALVAN, E. L. T.; FERREIRA, K. S. M.; GODOY, R. V. S.; BOSCOV, M. E. G. Influence of Water Treatment Sludge Addition on the Compressibility and Shear Strength Parameters of Two Lateritic Soils. *In: PROCEEDINGS OF THE XVI PAN-AMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING (XVI PCSMG). GEOTECHNICAL ENGINEERING IN THE XXI CENTURY: LESSONS LEARNED AND FUTURE CHALLENGES. 2019, Anais*, p. 2422–2430. DOI: 10.3233/STAL190310.
- PEREIRA, K. F. S.; TSUGAWA, J. K.; BOSCOV, M. E. G. Caracterização geotécnica de misturas de lodo de estação de tratamento de água (ETA) com cal. *In: COBRAMSEG 2018 2018, Anais*.
- PETERSEN, L.; DAHL, C. K.; ESBENSEN, K. H. Representative mass reduction in sampling - A critical survey of techniques and hardware. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 74, n. 1, p. 95–114, 2004. DOI: 10.1016/j.chemolab.2004.03.020.
- PETERSEN, L.; MINKKINEN, P.; ESBENSEN, K. H. Representative sampling for reliable data analysis: Theory of Sampling. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 77, n. 1-2, p. 261–277, 2005. DOI: 10.1016/j.chemolab.2004.09.013.
- ROBINSON, G. K. How much would a blending stockpile reduce variation? **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 74, n. 1, p. 121–133, 2004. DOI: 10.1016/j.chemolab.2004.03.010.
- RODRIGUEZ, T. T.; TEIXEIRA, R. S.; FERNANDES, F.; JUNIOR, O. M. O.; MARTINS, F. B.; KOMORI, E. T.; DANZIGUER, D. H. Estudo da compactação de lodo de ETA para uso em aterros sanitários. *In: ANAIS DO VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL E VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS REGEO/GEOSSINTÉTICOS 2011, Belo Horizonte-MG. Anais*. Belo Horizonte-MG
- SILVA, A. S.; HEMSI, P. S. Efeito do teor de sólidos na resistência ao cisalhamento de um lodo de ETA visando seu uso em cobertura diária de aterros sanitários. *In: PROCEEDINGS OF XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA 2018, Salvador, BA. Anais*. ABMS, 2018.
- TSUGAWA, J. K. **Methodology to evaluate the behavior of water treatment sludge and other pasty-wastes stabilized with additives as sustainable geomaterial: rheological, geotechnical and geoenvironmental approaches**. 2021. University of Sao Paulo, in press, 2021.
- TSUGAWA, J.K.; PEREIRA, K.F.S.; BOSCOV, M.E.G. Thixotropy of sludge from the Cubatão Water Treatment Plant, Brazil. *In: GEOTECHNICAL FRONTIERS 2017, Orlando, FL. Anais: ASCE-American Society of Civil Engineers*, 2017. p. 842–851. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784480472.090>.
- TSUGAWA, J. K.; SABINO E. F. S.; MONTE, R.; BOSCOV, M.E.G. Importance of composing representative samples according to the Theory of Sampling (TOS)



- for the reuse of water treatment sludge. *In*: PROCEEDINGS OF THE XVI PAN-AMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING (XVI PCSMGE). GEOTECHNICAL ENGINEERING IN THE XXI CENTURY: LESSONS LEARNED AND FUTURE CHALLENGES. 2019a, **Anais.p.** 2450–2457. Disponível:<http://ebooks.iospress.nl/publication/53525>.
- TSUGAWA, J. K.; ROMANO, R. C. O.; PILEGGI, R. G.; BOSCOV, M. E. G. **A rheological approach for the evaluation of geotechnical use of water treatment sludge**. Springer Singapore, 2019. b. v. 1 DOI: 10.1007/978-981-13-2221-1\_24. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1\\_24](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1_24).
- WATANABE, Y.; KOMINE, H.; YASUHARA, K.; MURAKAMI, S. Batch leaching test focusing on clod size of drinking water sludge and applicability to long-term prediction using column leaching test. *In*: GEOFRONTIERS 2011 ADVANCES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING 2011, **Anais.** : ASCE, 2011.
- XIA, Z. **Geotechnical characterization of water treatment plant residuals**. 1994. New Jersey Institute of Technology, 1994.
- YUZHU, W. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso**. 1996. Universidade de São Paulo, 1996.

## ANÁLISE DE MISTURAS DE LODO DE ETA COM SOLO SILTOSO DA REGIÃO DE SANTA MARIA – RS

*Juliana Scapin, UFSM, juliana.scapin@ufsm.br*  
*Eduarda Fração Santos, UFSM, eduardafracaosantos@gmail.com*  
*Rinaldo José Barbosa Pinheiro, UFSM, rinaldo@ufsm.br*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Avaliação geotécnica, Permeabilidade

### 1. INTRODUÇÃO

O lodo de estações de tratamento de água (LETA) é um produto do processo de coagulação da água bruta e sua composição assemelha-se com a da água tratada, com presença de hidróxidos de alumínio ou ferro, oriundos dos compostos químicos utilizados no processo de coagulação (RICHTER, 2001).

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004) o LETA é classificado como um resíduo sólido, devendo ser disposto em aterro de resíduos, a fim de diminuir riscos ambientais. O lançamento inadequado do LETA em corpos hídricos pode causar vários impactos como aumento da quantidade de sólidos em suspensão, assoreamento, mudança de cor, aumento das concentrações de alumínio e aumento da demanda química do oxigênio (CORDEIRO, 1999 e SILVA, 2011).

Esta pesquisa analisou misturas do solo empregado como camada de cobertura no aterro sanitário da Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR), com adição do LETA proveniente da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), com objetivo de verificar seu uso como material de cobertura e como camada de base para aterros sanitários.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação geotécnica consistiu na realização dos ensaios de caracterização geotécnica, conforme Tabela 1, sendo esses os limites de Atterberg, análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, massa específica real dos grãos, ensaios de compactação com energia *proctor* normal e ensaios de permeabilidade com carga variável.

Tabela 1 - Caracterização física solo e lodo e respectivas normas para realização de ensaios.

Ensaio	Norma
Análise granulométrica	NBR 7181 (ABNT, 2016)
Determinação do limite de liquidez	NBR 6459 (ABNT, 2016)
Determinação do limite de plasticidade	NBR 7180 (ABNT, 2016)
Determinação da massa específica	NBR 6508 (ABNT, 2014)
Ensaio de Compactação	NBR 7182 (ABNT, 2016)
Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável	NBR 14545 (ABNT 2000)
Compactação Mini-MCV	DNER-ME 258 (DNER, 1994)

#### 2.1. Misturas produzidas

Os materiais foram caracterizados com base na mistura de lodo com solo nos percentuais de 15% (SL15), 25% (SL25), 35% (SL35) e 50% (SL50) de lodo misturado ao solo. As amostras SL0 e SL100 representam somente o solo e o lodo, respectivamente.

#### 2.2. Características Geotécnicas de Materiais para Cobertura de Aterros

Para avaliar a aplicação em aterros sanitários, Rodriguez et al. (2011) tomaram como referência os requisitos mínimos para solo de impermeabilização apresentados por Boscov, na Tabela 2 (FERRARI, 2005 apud BOSCOV, 2008).

Em aterros sanitários, a permeabilidade é uma propriedade muito importante, pois é preciso controlar a migração de percolado através da execução de camadas impermeáveis. Essas

camadas podem ser executadas com solos compactados que atinjam coeficientes de permeabilidade satisfatórios (BOSCOV, 2008).

Os coeficientes de permeabilidade das amostras estudadas foram determinados através de ensaios de permeabilidade com carga variável.

Para isso, foram utilizados corpos de prova deformados, compactados em moldes metálicos com dimensões convencionais, utilizando cerca de cinco quilos de material, e com dimensões em miniatura que utilizaram cerca de quinhentos gramas de material.

Tabela 2 - Requisitos para solos de impermeabilização, utilizados em aterros sanitários (BOSCOV, 2008).

Fonte	LL(%)	IP(%)	Finos $\Phi \leq 0,075\text{mm}$ (%)	Fração Argila $\Phi \leq 0,002\text{mm}$ (%)	Fração Areia $0,075\text{mm} < \Phi \leq 4,8\text{mm}$ (%)	Fração Pedregulho $\Theta > 4,8\text{mm}$ (%)	K (m/s)
Omafra (2003)	$30 \leq LL \leq 60$	$11 \leq IP \leq 30$	$\geq 50$	$\leq 20$	$\leq 45$	$\leq 50$	$\leq 10^{-9}$
EPA (1989)	-	$\geq 10$	$\geq 20$	-	-	$\leq 10$	$\leq 10^{-9}$
Cetesb (1993)	$\geq 30$	$\geq 15$	$\geq 30$	-	-	-	$\leq 10^{-9}$

Fonte: Ferrari, 2005 apud Boscov, 2008.

Onde: LL: limite de liquidez, IP: índice de plasticidade, K: permeabilidade do solo.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

#### 3.1. Ensaios de caracterização física e granulométrica.

A análise granulométrica do solo foi realizada por peneiramento e sedimentação (com e sem uso de defloculante), conforme apresentado na Tabela 3. A análise granulométrica do LETA só foi possível utilizando o granulômetro a laser, conforme apresentado na Tabela 4. Knierim (2020) também realizou ensaios de granulometria a laser para o lodo e seus resultados constam na Tabela 5.

Para o LETA, o ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação não foi possível realizar, pois as partículas de lodo precipitavam rapidamente, mesmo com uso de defloculante. Tal fato também é reportado por Delgado (2016), Montalvan (2016), Hsieh e Raghu, 1997 apud Montalvan, 2016, no qual os autores descrevem que o coagulante utilizado na ETA faz com que as partículas de lodo se aglutinem, aumentem de tamanho e precipitem rapidamente, não obedecendo à Lei de Stokes.

Tabela 3 – Granulometria do solo.

	Porcentagens (%)	
	Com uso de defloculante (%)	Sem uso de defloculante
Argila	29	9
Silte	39	54
Areia fina	19	25
Areia média	11	11
Areia grossa	2	1
Pedregulho	1	1

Tabela 4 – Granulometria do lodo.

Frações	Lodo	Lodo (Knierim, 2020)
% areia ( $60 \leq 2000 \mu\text{m}$ )	94,66	87,95
% silte ( $2 \leq 60 \mu\text{m}$ )	4,83	10,33
% argila ( $< 2 \mu\text{m}$ )	0,37	1,72

A Tabela 5 apresenta a caracterização física do solo, LETA e das misturas. Não foi possível obter valores para os limites do LETA nem para a mistura

SL50%, pois o material não apresentava condições de trabalhabilidade.

Tabela 5 – Caracterização física do solo, lodo e misturas.

Material	Teor de umidade (%)	Massa específica real dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo	7,32	2,81	33	20	13
Lodo	200	2,5	-	-	-
SL15	36	2,74	40	20	19
SL25	37	2,63	42	30	12
SL35	41	2,63	43	36	7
SL50	-	2,44	-	-	-

### 3.2. Parâmetros de compactação

Todas as misturas foram submetidas a ensaios de compactação proctor, empregando a energia normal. Além disso, também foram conduzidos ensaios de compactação Mini-MCV, empregando amostras sem reuso, previamente preparadas.

Os valores de massa específica aparente seca máxima e teores de umidade ótima encontrados para as compactações Proctor Normal e Mini-MCV são resumidos na tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros de compactação das misturas.

Amostra	Compactação	MEASmáx. (g/cm <sup>3</sup> )	Wot. (%)
SL0	Proctor	1,625	21,0
	Mini-MCV	1,740	18,5
SL15	Proctor	1,450	27,2
	Mini-MCV	1,550	25,6
SL25	Proctor	1,325	33,6
	Mini-MCV	1,406	29,9
SL35	Proctor	1,270	35,8
	Mini-MCV	1,342	33,4
SL50	Proctor	1,088	47,5
	Mini-MCV	1,222	37,2

MEASmáx.: Massa específica aparente seca máxima; Wot.: Teor de umidade ótima

### 3.3. Avaliação da permeabilidade

Com objetivo de avaliar as propriedades de compactação e permeabilidade foram realizados

ensaios no solo e nas misturas solo-lodo, cujos resultados estão apresentados na Tabela 7. Não foi possível determinar o coeficiente de permeabilidade para a amostra SL50, pois a água atravessava o corpo de prova rapidamente.

Os testes de permeabilidade das misturas ocorreram empregando amostras tradicionais e miniaturas moldadas. Os ensaios ocorreram com carga variável e permeômetros de parede rígida, de acordo com a norma NBR 14545 (ABNT, 2000).

Tabela 7 - Resultados do ensaio de permeabilidade.

AM	MEAS (g/cm <sup>3</sup> )	W (%)	$k \times 10^{-8}$ (cm/s)
SL0	1,5943	20,50	3,509
SL0*	1,7383	18,71	4,177
SL15	1,3714	26,20	5,315
SL15*	1,5472	24,63	2,737
SL25	1,325	33,6	8,49
SL25*	1,406	29,9	2,83
SL35	1,2515	35,03	37,41
SL35*	1,3479	33,05	3,650

AM: Amostra; MEAS: Massa específica aparente seca; W: Teor de umidade;  $k$ : Coeficiente de permeabilidade médio a 20°C; (\*): Amostra moldadas em miniatura Mini-MCV

## 4. CONCLUSÕES

Com os valores apresentados nas tabelas 6 e 7 pôde-se perceber que as misturas que apresentaram maiores massas específicas aparentes secas máximas nos ensaios de compactação também apresentaram os menores coeficientes de permeabilidade. Analisando os resultados obtidos, conclui-se que todas as misturas atenderam a NBR-13896 (ABNT, 1997), que recomenda a execução de aterros em áreas onde o subsolo tenha coeficiente de permeabilidade inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s, porém considera desejável a existência de jazida de solo natural com permeabilidade inferior a  $1 \times 10^{-6}$  cm/s.



## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo - Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo. Oficina de Textos, 2008.
- CORDEIRO, J.S.; CAMPOS, J.R. **O Impacto Ambiental Provocado pela Indústria da Água**. Revista Saneamento Ambiental, São Paulo, n. 56, mar/abr, 1999.
- DELGADO, J. V. C. **Avaliação da aplicação do lodo da ETA Guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada**. 2016. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 258: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini – MCV**. DNER, 1994.
- MONTALVAN, E. L. T. **Investigação do comportamento geotécnico de misturas de solo arenoso com lodo da estação de tratamento de água do município de Cubatão, SP**. 2016. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2016.
- KNIERIM, L. S. **Estudo do comportamento mecânico e hídrico do uso do lodo de estação de tratamento de água em misturas com solo argiloso laterítico**. 2020. 210 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2020.
- RODRIGUEZ, T. T.; et. al. Estudo da Compactação de lodo de ETA para uso em aterros sanitários. VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO. **Anais...**Belo Horizonte, 2011.
- RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. São Paulo: Blucher, 2001.
- SILVA, M. V. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – IPEN/ Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. 132 p.

## Avaliação da qualidade da água bruta e caracterização do resíduo do decantador gerado na ETA Piracanjuba

*Susane Campos Mota Angelim. Engenheira Civil, Mestre em Engenharia do Meio Ambiente. Engenheira da Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO), susane2008@gmail.com*

*Paulo Sérgio Scalize. Engenheiro Civil e Biomédico, Doutor em Hidráulica e Saneamento. Professor Associado da Universidade Federal de Goiás (UFG), pscalize@ufg.com*

*Renato Resende Angelim. Engenheiro Civil, Doutor em Geotecnia. Professor Associado da Universidade Federal de Goiás (UFG), angelim@ufg.com*

**Palavras Chave:** Água bruta, ETA, Lodo, Resíduo de ETA, Caracterização.

### 1. INTRODUÇÃO

Em estações de tratamento de água (ETAs), com a finalidade de atender aos padrões de potabilidade, a água bruta é transformada em água adequada para consumo por meio de operações e processos com introdução de produtos químicos, gerando resíduos principalmente na descarga dos decantadores e na lavagem dos filtros.

O lançamento de resíduos em corpos de água é regulado pela Resolução 357 (CONAMA, 2005), que estabelece os padrões de qualidade da água a serem atendidos, e pela Resolução 430 (CONAMA, 2011) e Decreto Estadual nº 9710 (GOVERNO DE GOIÁS, 2020), sendo que estes estabelecem limites de emissão para efluentes. Apesar do aspecto aquoso dos resíduos de ETA, a NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos provenientes de ETAs como resíduos sólidos, sendo necessárias soluções técnica e economicamente viáveis, de modo que sejam tratados e dispostos sem provocar danos ao meio ambiente. Isso demonstra a necessidade do conhecimento das características físicas e químicas, tanto da água bruta quanto do resíduo.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da caracterização do resíduo do decantador da ETA Piracanjuba (ETA-P), realizada por Angelim (2015), que utiliza sulfato de alumínio como coagulante.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Localização da ETA do estudo

A estação de tratamento de água (ETA) de estudo

localiza-se na área urbana do município de Piracanjuba, com coordenadas geográficas 17° 18' 37,09" S e 49° 01' 25,22" W. O município situa-se a cerca de 80 km a sul de Goiânia, Goiás, nas bacias dos rios Piracanjuba e Meia Ponte, afluentes do rio Paranaíba, grande bacia do rio Paraná.

#### 2.2. Descrição da ETA de estudo

A ETA-P trata água de dois mananciais abastecedores, o córrego São Mateus e o rio Piracanjuba, sendo que este complementa a vazão do primeiro no período de estiagem. O córrego São Mateus é um pequeno afluente do rio Piracanjuba e sua bacia de contribuição abrange a área urbana da cidade. A captação São Mateus situa-se nas coordenadas geográficas 17° 18' 39,47398" S de latitude e 49° 01' 18,79323" W de longitude, a aproximadamente 200 metros da ETA. A captação Piracanjuba situa-se a cerca de 14 km da ETA, nas coordenadas 17° 20' 32,03585" S e 48° 54' 24,43399" W.

A ETA-P (Figura 2.1), é dotada de dois sistemas de tratamento que operam em paralelo, um de ciclo completo e outro de filtração direta, com produção para 18 mil habitantes (SANEAGO, 2011). A ETA de ciclo completo foi implantada no final da década de 1970 com adaptações na década de 1990 para a capacidade de 30 L/s, quando houve o acréscimo de dois filtros russos de 10 L/s cada (TEIXEIRA, 1982).

O sistema de ciclo completo, objeto deste estudo, é composto de floculador hidráulico de fluxo vertical com três câmaras, decantador

convencional dotado de descarga de fundo e dois filtros rápidos de fluxo descendente, todos construídos em concreto armado. O decantador possui dois compartimentos separados por uma parede com abertura de 2,75 m x 0,75 m, a uma altura de 0,75 m do fundo (batente). O coagulante primário utilizado é o sulfato de alumínio. O sistema opera com vazão de 40 a 60 L/s.

Os produtos químicos utilizados são o coagulante sulfato de alumínio e a cal para correção do pH.

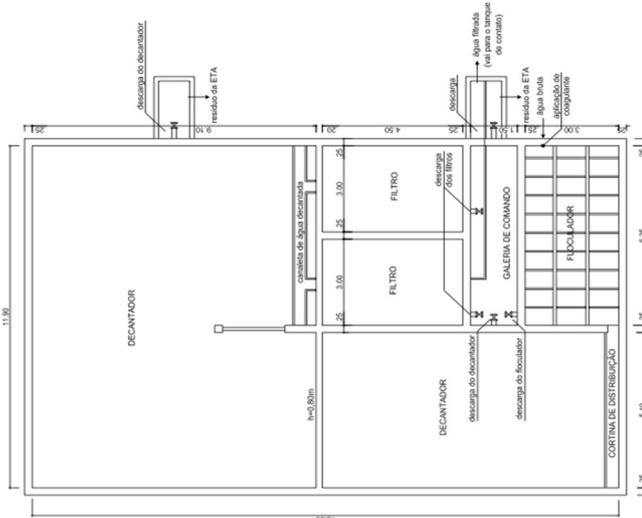


Figura 2.1 – Planta esquemática da ETA de ciclo completo de Piracanjuba (Angelim, 2015).

### 2.3. Caracterização da ETA-P e da água bruta

As características operacionais da ETA-P foram obtidas dos registros de monitoramento da Saneago, de janeiro a dezembro de 2010. Foram levantados os volumes médios diários de água bruta, o tempo de funcionamento da ETA, as dosagens de sulfato de alumínio e cal, bem como as características da água bruta.

As análises de caracterização da água bruta foram realizadas segundo *Standard Methods* (APHA; AWWA; WEF, 2005), a partir de amostras simples coletadas diretamente das duas captações, com frequência bimestral.

Os parâmetros da água bruta avaliados foram: pH, cor, turbidez, ferro, manganês, sólidos dissolvidos totais (SDT) e coliformes termotolerantes.

### 2.4. Caracterização dos resíduos da ETA

O volume de resíduo do decantador da ETA Piracanjuba foi estimado a partir da altura de lodo

verificada durante a limpeza. Após descarte do sobrenadante clarificado mediante a abertura dos registros de descarga de fundo, interrompeu-se a descarga para medição da altura do lodo sedimentado. O volume de resíduo foi deduzido pelo produto da altura da camada de lodo pela área do decantador. Foi feita então a coleta do resíduo para o experimento. Em seguida reabriu-se os registros até a completa descarga do lodo e procedeu-se a limpeza manual do tanque com jato d'água e rodo de uso doméstico, conforme rotina operacional.

O volume de água de lavagem dos filtros foi quantificado a partir da vazão da bomba da elevatória de água de lavagem, tempo de limpeza e frequência de limpeza. A lavagem dos filtros é feita com água em fluxo ascendente, recalçada do tanque de contato por uma bomba centrífuga, marca ABS, modelo NOWA 15020, rotação de 1.750 rpm, vazão de 342 m<sup>3</sup>/h e altura manométrica de 12 mca. O tempo de lavagem é de aproximadamente 7 minutos para cada filtro, conforme padronizado pela rotina operacional.

Na estação chuvosa, quando a água bruta é captada do córrego São Matheus, a limpeza dos filtros é feita a cada dois dias. Na estação seca, quando a água captada é proveniente do rio Piracanjuba, de turbidez mais elevada, a limpeza ocorre diariamente.

Os parâmetros do lodo do decantador avaliados foram: sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos totais (STF), sólidos sedimentáveis, condutividade, pH, DQO, NTK e Fósforo Total.

Com base no teor médio de sólidos do decantador e da água de lavagem dos filtros, bem como no volume médio diário de cada resíduo, determinou-se a carga total média de sólidos dos resíduos da ETA. Para fim de comparação, estimou-se o aporte diário de sólidos da ETA por meio das equações empíricas 1 e 2 (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008) adotando-se "a" igual a 1,5 e turbidez média de 12,3 uT.

$$P_{SS} = Q (0,44D_{SAI} + SST + D_P + D_{CAP} + 0,1D_{cal}) \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$SST = a.Tu \quad (2)$$



em que:

$P_{SS}$  = produção de SST (kg/d);  $Q$  = vazão de água bruta (m<sup>3</sup>/d);  $D_{SAI}$  = dosagem de sulfato de alumínio com 17,17% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (mg/L);  $SST$  = concentração de sólidos suspensos totais na água bruta (mg/L);  $D_p$  = dosagem de polímero seco (mg/L);  $D_{CAP}$  = dosagem de carvão ativado pulverizado (mg/L);  $D_{cal}$  = dosagem de cal hidratada (mg/L);  $Tu$  = turbidez (uT); e  $\alpha$  = coeficiente determinado experimentalmente.

### 3. RESULTADOS

Na Tabelas 3.1 é apresentada as características da água bruta. De acordo com os valores apresentados, os dois mananciais que abastecem a ETA-P são enquadrados como Classe 2 (CONAMA, 2005). Notou-se que a água do rio Piracanjuba, apresentou maior concentração de sólidos dissolvidos totais do que córrego São Mateus.

Tabela 3.1 - Características médias da água bruta do córrego São Mateus e rio Piracanjuba de 2010.

Manancial	Cor aparente (uH)	pH	Turbidez (uT)	Ferro total (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Manganês (mg/L)	SDT (mg/L)
1	61,0	6,65	10,36	0,87	50,2	0,100	12,05
2	69,1	7,19	14,30	0,81	58,4	0,112	21,23

Nota: Córrego São Mateus = 1; Rio Piracanjuba = 2.

Fonte: Registros operacionais da SANEAGO (adaptado de Angelim, 2015).

O volume de água bruta médio tratado pela ETA foi de 2.102,4 m<sup>3</sup>/d, em tempo médio de operação de 13,1 h/d, com consumo médio de 6,05 g/m<sup>3</sup> de sulfato de alumínio e 1,52 g/m<sup>3</sup> de cal, cujos valores foram obtidos a partir de medições diárias.

As principais características físico-químicas do lodo do decantador são apresentadas na Tabela 3.2.

Os teores de sólidos totais do resíduo do decantador da ETA-P variaram de 8,1 a 48,0 g/L, com média de 27,9 g/L. Essa ampla variação está relacionada à operação da ETA, principalmente com a variação sazonal da qualidade da água bruta e o consumo de coagulante. Os índices observados

encontram-se dentro da faixa, usualmente entre 1 e 30 g/L, podendo alcançar valores da ordem de 80 g/L, sendo que valores maiores que 25 g/L são observados em decantadores convencionais de limpeza manual com período de acumulação acima de 20 dias, como é o caso da ETA em estudo (CORDEIRO, 1993; AWWA, 1999; CHAO, 2006).

Tabela 3.2 - Características médias do lodo do decantador (set/2011 a jun/2012).

Valor	ST (g/L)	STV (g/L)	STV (%ST)	STF (g/L)	STF (%ST)	S. Sed (mL/L)	CE (µS/cm)	pH	DQO (mg/L)	NTK (mg/L)	P <sub>total</sub> (mg/L)	P <sub>total</sub> (g/kg)
Mín	8,1	1,9	21,9	6,2	72,7	500	25	6,6	2553	5,8	6,5	0,8
Máx	48,0	13,1	27,3	34,9	78,1	1000	299,0	7,4	6587	84,0	78,4	2,8
Méd	27,9	7,1	25,0	20,8	75,0	733	156,7	6,9	4517	39,4	45,5	1,6

Notas: Fósforo total = P<sub>total</sub>, em g/kg em base seca de sólidos totais; Condutividade elétrica = CE.

Fonte: Adaptado de Angelim (2015).

A carga total de sólidos dos resíduos da ETA foi em média de 54 kg/d, o que corresponde a 26 g de sólidos secos/m<sup>3</sup> de água tratada, enquanto o aporte diário de sólidos estimado por meio das equações 1 e 2 foi de 42 kg/d. Portanto, o valor medido superou o valor estimado empiricamente em aproximadamente 29%.

O resíduo se trata de um lodo inorgânico, com relação média de STF/ST de 75%. A DQO média é de 4.517 mg/L, dentro da faixa típica de 500 a 15.000 mg/L para lodos de ETA (CORDEIRO, 1993). O teor de fósforo, entre 6,5 a 78,4 mg/L, é elevado comparando-se com a faixa de 2 a 34 mg/L encontrada na literatura (CORDEIRO, 1993; SCALIZE, 2003; CHAO, 2006; SOARES, 2013). Este fato deve-se ao tipo de ocupação da bacia hidrográfica, predominantemente agrícola com uso de fertilizantes agrícolas ricos neste nutriente. Entretanto, valor próximo à média da ETA-P de 1,6 g/kg em base seca também foi encontrado para o lodo da ETA Meia Ponte em Goiânia, de 1,43 g/kg (Saneago, 2009 *apud* SOUZA, 2011).

O teor de sólidos sedimentáveis do lodo do decantador apresentou média de 733 mL/L, o que excede o padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos, embora haja pequena diluição do lodo durante o processo de limpeza.



## 4. CONCLUSÕES

Com base nas características da água bruta, os dois mananciais que abastecem a ETA-P foram enquadrados como Classe 2 (CONAMA, 2005).

A carga total média de sólidos da ETA-P de 54 kg/d superou o valor de 42 kg/d estimado empiricamente em aproximadamente 29%, indicando a importância da caracterização dos resíduos das ETAs para avaliação dos sistemas e estudo de soluções de tratamento.

O lodo do decantador da ETA-P possui característica inorgânica (relação STF/ST média de 75%) e elevado teor de fósforo (média de 45,5 mg/L), acima dos valores encontrados na literatura, o que foi atribuído ao uso de fertilizantes agrícolas nessa bacia.

Embora a legislação brasileira trate o resíduo de ETA como resíduo sólido, os resultados da campanha experimental desenvolvida por Angelim (2015), apresentados no presente trabalho, indicam que a prática usual do lançamento direto no curso d'água não atende ao padrão de 1 mL/L de sólidos sedimentáveis, exigido para efluentes líquidos pela Resolução 430 (CONAMA, 2011), chamando a atenção para a necessidade de disposição adequada do resíduo.

## AGRADECIMENTOS

À Saneamento de Goiás (SANEAGO) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG).

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. São Paulo, 2004.
- ANGELIM, S. C. M. **Estudo em escala real da disposição de resíduo de decantador de ETA em lagoa de estabilização de esgoto**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA), Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, 133 p. 2015.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA);

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st Ed. Washington, DC, 2005.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Water Quality & Treatment - A handbook of community water supplies**. American Water Works Association, 5<sup>th</sup> Ed., USA, 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Brasil, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 430: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Brasil, 2011.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 342p. 1993.

CHAO, I. R. S. **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, vol. 2. 2008.

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS. **Decreto Estadual nº 9710: Regulamenta a Lei Estadual nº 20.694, de 26 de dezembro de 2019, que dispõe sobre as normas gerais para o Licenciamento Ambiental no Estado de Goiás**. 2020.

SANEAGO. **Boletim Informativo**. Goiânia, Assessoria de Planejamento, maio de 2011.

SCALIZE, P. S. **Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto**. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 146p. 2003.

SOARES, L. A. **Utilização de resíduo de ETA no tratamento de efluente de lagoas de estabilização**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA), Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, 143 p. 2013.

SOUZA, L. M. **Estudo da aplicação do resíduo de decantador de ETA como auxiliar de floculação no tratamento de água**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA), Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, 145 p. 2011.



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

---

TEIXEIRA, D. D. **Projeto hidráulico do sistema de abastecimento de água de Piracanjuba.** Goiânia: Saneago, 1982.



## AVALIAÇÃO DE ATIVIDADE POZOLÂNICA EM RESÍDUO DE ETA

Araújo, Flávio de Carvalho, Saneamento de Goiás, PUC/GO, Goiânia, [flavioc@saneago.com.br](mailto:flavioc@saneago.com.br)

Scalize, Paulo Sérgio, UFG/GO, Goiânia, [pscalize.ufg@gmail.com](mailto:pscalize.ufg@gmail.com)

Albuquerque, António, FibEnTech, GeoBioTec, UBI, Portugal, [antonio.albuquerque@ubi.pt](mailto:antonio.albuquerque@ubi.pt)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Concreto, Cimento, Pozolana

### 1. INTRODUÇÃO

Nas Estações de Tratamento de Água (ETA), os processos de potabilização da água, geralmente demandam a aplicação de diversos produtos químicos, entre eles, alcalinizantes, oxidantes, coagulantes e auxiliares de coagulação, que são utilizados para remoção da matéria sólida em suspensão na água bruta. Como consequência, ao final desse procedimento, é gerado um volume significativo de resíduos, os quais podem ser destinados a aterros sanitários, solo, inclusive, lançados em cursos de água próximos, ocasionando impactos ambientais negativos. Apenas uma pequena parcela é utilizada em materiais de construção e na reabilitação de solos degradados.

Atualmente, existem alternativas para tornar viável o gerenciamento ambiental e econômico dos resíduos, a exemplos de modelos internacionais de gestão de resíduos sólidos, que sugerem seu reaproveitamento em produtos de construção, como solução sustentável. A opção de reutilização é também relevante, ao passo que reduz os custos associados à sua eliminação.

O reaproveitamento de resíduos de ETA, para a produção de materiais de construção, já foi investigado para a fabricação de artefatos de solo-cimento, concreto e clínquer de cimento [Rodriguez *et al.* (2011); Sampaio *et al.* (2014); Schneider (2003); Safiuddin *et al.* (2010)].

Posto isso, essa pesquisa investigou o potencial de utilização do resíduo da ETA, na utilização como material pozolânico.

O interesse da avaliação é indicar possíveis caminhos, para aplicação do resíduo como adições pozolânicas, que poderão ser incorporadas ao cimento *Portland*. Visto que o cimento é um insumo amplamente utilizado na indústria da construção civil e o emprego do resíduo como

matéria prima, contribuirá para sua destinação sustentável.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Materiais

O resíduo de ETA utilizado na pesquisa, foi coletado da lagoa de secagem de resíduos, da ETA do Sistema Meia Ponte, localizada no município de Goiânia, Goiás (Figura 1).



Figura 1 - Imagem de satélite da ETA Meia Ponte

#### 2.2. Métodos

O material foi caracterizado para avaliar seu potencial reativo, por meio do índice de atividade pozolânica (IAP). Para determinar o IAP, foi realizado o ensaio Chappelle modificado, conforme os procedimentos da norma NBR 15.895/2010 (ABNT, 2010) e da norma francesa NF P18-513/2010 (NF, 2010). A aplicação das normas brasileira e francesa foi importante para comparação dos parâmetros e sua utilização em pesquisas futuras, em cooperação entre Universidade Federal de Goiás e Universidade da Beira Interior, de Portugal.

Conforme afirmaram Hoppe Filho *et al.* (2017), a norma se aplica a materiais silicosos e sílico-aluminosos, pois em sua fase amorfa ocorre a fixação do hidróxido de cálcio. Assim, o ensaio



determinou o teor de hidróxido de cálcio fixado pelo material, e conseqüentemente, a ocorrência de compostos hidratados.

### 2.3. Ensaio

Foram preparadas duas amostras de material, uma das amostras (RETA1) foi calcinada em mufla a 700°C e a outra (RETA2) foi utilizada em bruto. Em ambas a moagem apresentou residual abaixo de 12% na peneira de 45 mm, para garantir a área específica solicitada para a atividade pozolânica. Para cada amostra foi aplicado o ensaio Chapelle modificado em triplicata, descrito a seguir:



Figura 2 - Ensaio Chapelle em banho Maria com água durante 16 horas

Foi adicionado em um frasco *Erlenmeyer* de 500ml, 1,0 g de resíduo preparado, 2,0 g de Óxido de Cálcio (CaO), 250 mL de água isenta de CO<sub>2</sub>, homogeneizados, em banho maria, por 16 h de agitação à temperatura de (90°C ± 5°) (Figura 2).

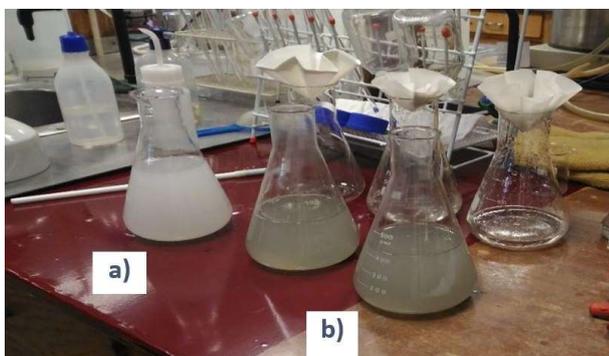


Figura 3 - a) Amostra antes da digestão; b) amostra para titulação, após digestão

Após resfriamento em água corrente à temperatura ambiente, foi adicionado 250 mL de solução sacarose (240 g/L). Em seguida foi agitado por 15 min (Figura 3a). Posteriormente foram filtrados, usando papel de filtração, 100 mL. Foi pipetado 50 mL da solução e titulado com solução de HCL 0,1 M, usando solução de fenolftaleína (1g/L) como indicador (Figura 3b). As mesmas operações foram realizadas com um ensaio em branco.

Os ensaios foram realizados em triplicata e o cálculo do índice de atividade pozolânica Chapelle ( $I_{Ca(OH)_2}$ ), corresponde ao teor de hidróxido de cálcio fixado, em miligramas (mg) de Ca(OH)<sub>2</sub> por grama (g) de material, foi calculado utilizando a equação 1, conforme NBR 15.895/2010 (ABNT, 2010), e equação 2, conforme norma francesa NF P18-513 9/2010 (NF, 2010).

$$I_{Ca(OH)_2} = \frac{28 \cdot (V_3 - V_2) \cdot F_c}{m_2} \cdot 1,32 \quad (1)$$

$$mg_{[Ca(OH)_2]} = \frac{2 \cdot x \cdot (V_1 - V_2)}{v_1} \times \frac{74}{56} \times 1000 \quad (2)$$

### 2.4. Resultado

Os resultados obtidos são apresentados seguidamente:

Amostra RETA1: Volume do ensaio em branco = 33 mL e Volume do ensaio com amostra = 26,65 mL.

Amostra RETA2: Volume do ensaio em branco = 33 mL e Volume do ensaio com amostra = 20,3 mL.

Aplicando a equação (1), da norma brasileira, resultaram os seguintes  $I_{Ca(OH)_2}$ :

RETA 1:  $I_{Ca(OH)_2} = 610,21$  mg

RETA 2:  $I_{Ca(OH)_2} = 305,10$  mg

Aplicando a equação (2), da norma francesa, resultaram os seguintes  $I_{Ca(OH)_2}$ :

RETA1: 1017,1 mg Ca(OH)<sub>2</sub>.

RETA2: 508,55 mg Ca(OH)<sub>2</sub>.

A diferença entre os resultados das normas se deu por considerações distintas entre os parâmetros das fórmulas, porém, os resultados para o RETA1



(RETA calcinado a 700°C) apresentou o maior valor de atividade pozolânica de Chapelle modificada, para ambas normas. Este material é classificado como "metacaulino altamente reativo" em sistemas cimentícios de acordo com as normas NBR 15895 e NF P 18-513, que definem que a atividade pozolânica do metacaulino não deve ser inferior a 330 e 700 mg Ca(OH)<sub>2</sub>/g metacaulino, respectivamente.

De acordo com o ensaio de DRX do resíduo sem calcinação, Araújo *et al.* (2015) detectaram as fases cristalinas de haloisita, quartzo, muscovita e caulinita. Esses compostos, provavelmente, sofreram desidroxilação ao serem calcinados, o que pode ter corroborado para a ativação da reatividade do resíduo.

### 3. CONCLUSÕES

Dessa forma, conclui-se que, de acordo com os resultados dos ensaios, utilizando-se os critérios das duas normas, brasileira e francesa, das amostras "in natura" e calcinada, observa-se que é fundamental a calcinação do resíduo para que ele possa ser caracterizado como material pozolânico. O aumento de Ca(OH)<sub>2</sub> foi de 200%, com os parâmetros da norma brasileira e também da francesa. E elevou a quantidade de Ca(OH)<sub>2</sub> acima dos limites mínimos para materiais considerados pozolânicos.

Experimentos futuros, utilizando resíduos calcinados em corpos de prova, ajudarão na compreensão do comportamento das adições pozolânicas nas peças produzidas e os limites de dosagens positivas. Assim, a investigação trará mais luz à intenção de incorporação do resíduo calcinado como adição para produção de cimento Portland.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos colegas envolvidos na coleta, ensaios e discussões, da SANEAGO/GO, UFG e UBI/PORTUGAL (projeto UIDB/00195/2020, FibEnTech, financiado pela FCT).

### REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15895: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado**. Rio de Janeiro, 2010.
- ARAÚJO, F. C.; SCALIZE P. S.; ALBQUERQUE A.; ANGELIM R. R. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. **Revista Cerâmica**, ISSN 1678-4553, v. 61, n. 360, p. 450-456, São Paulo, 2015. <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613601931>
- HOPPE FILHO, J.; GOBBI, A.; PEREIRA, E.; QUARCIONI, V. A.; MEDEIROS, M. H. F. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I): Índice de atividade pozolânica (IAP) com cal, difração de raios-X (DRX), termogravimetria (TG/DTG) e Chapelle modificado. **Revista Matéria**, ISSN 1517-7076 artigo e11872, v. 22, n. 3, 18 p., Rio de Janeiro, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170003.0206>.
- RODRÍGUEZ, N. H.; MARTÍNEZ-RAMÍREZ S.; BLANCO-VARELA, M. T.; GUILLEM, M.; PUIG, J.; LARROTCHA, E.; FLORES, J. Evaluation of spray-dried sludge from drinking water treatment plants as a prime material for clinker manufacture. **Cement and Concrete Composites**, Espanha, v. 33, n. 2, p. 267-275, Feb. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.10.020>
- SCHNEIDER, D. M. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo. São Paulo, 2003. Dissertação de mestrado**. Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 130 p, 2003.
- SAMPAIO, Z. L. M.; SOUZA, P. A. B. F.; GOUVEIA, B. G. Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. São Paulo, v. 7, n. 4, p. 626-647, Aug. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952014000400006>.
- SAFIUDDIN, M.; JUMAAT, M.; SALAM, M. A.; ISLAM, M. S.; HASHIM, R. Utilization of solid wastes in construction materials. **International Journal of the Physical Sciences**, v. 5, n. 13, p. 1952-1963, Academic Journals, 2010.
- NF P18-513: 2010, **Metakaolin. Pozzolanic addition for concrete. Definitions, specifications and conformity criteria**. Association Française de Normalisation, La Plaine Saint-Denis, (in French).

## CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO LODO DA ETA DE CUBATÃO, SÃO PAULO

*Rodrigo Jun Araki Higashi, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP,  
rj.higashi@gmail.com*

*Iara Maria Carneiro de Camargo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP,  
icamargo@ipen.br*

*Maria Eugênia Gimenez Boscov, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, POLI-USP,  
meboscov@usp.br*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Cubatão, Caracterização

### 1. INTRODUÇÃO

O lodo de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) é um resíduo gerado durante o tratamento das águas de rios e represas para produção de água potável. A ETA de Cubatão gera aproximadamente 60 a 70 t/dia, e esse resíduo tem sido transportado para um aterro industrial no local (MONTALVAN, 2016, p. 67). Durante o processo de produção de água potável ocorre a concentração de diversos elementos no lodo que podem ser nocivos ao meio ambiente e à saúde do ser humano. A determinação da composição química é uma etapa inicial importante para caracterizar o lodo quanto aos elementos presentes, seja para fins de preservação ambiental ou para reaproveitamento do resíduo.

### 2. OBJETIVO

Caracterização da composição química de lotes do lodo da ETA de Cubatão para observar a variabilidade dos elementos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo provém da estação de tratamento de água (ETA) da Sabesp de Cubatão, município industrial do estado de São Paulo. Ele é gerado do tratamento da água bruta captada no rio Cubatão com cloreto férrico como agente coagulante, cal virgem, ácido fluorsilícico e cloro líquido (MONTALVAN, 2016, p. 67). O lodo foi coletado diretamente da centrífuga da estação em janeiro de 2017 (lodo 5, quinto lote) e março de 2018 (lodo 7, sétimo lote). O lodo 5 foi coletado de uma única vez e o lodo 7 foi composto por meio de 18 amostras de massa superior a 7 kg coletadas durante um mês, cada uma em um dia. As

amostras foram homogeneizadas, reduzidas e fracionadas de acordo com a Teoria de Amostragem, produzindo uma amostra representativa de 18 kg (TSUGAWA, 2019).

O lodo foi caracterizado quanto à umidade, pH, matéria orgânica e composição química. A umidade foi determinada por método gravimétrico e calculada na base úmida e seca (Embrapa, 1997, p. 7) ao longo de um ano. O pH foi determinado em água e em solução de cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> (Embrapa, 1997, p. 83). A matéria orgânica foi determinada por método gravimétrico pela queima do lodo em mufla a 375°C com base na norma NBR 13600 (ABNT, 1996).

A composição química foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios X em amostra seca e prensada em dois laboratórios. No Laboratório de Caracterização Tecnológica da Universidade de São Paulo (LCT-USP) a análise foi realizada sem padrões dos elementos químicos compreendidos entre o flúor e o urânio, em espectrômetro da marca Malvern Panalytical, modelo Zetium. Os valores foram normalizados a 100%. A perda ao fogo (PF) foi realizada a 1020°C por 2h e apresentou um valor de 22%. O limite de quantificação foi 0,01%. No Laboratório do Centro de Química e Meio Ambiente do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CEQMA-IPEN) os teores foram obtidos por análise semiquantitativa utilizando o método de parâmetros fundamentais em espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de comprimento de onda (WDXRFS), marca RIGAKU, modelo RIX 3000 (GUILHEN, 2019, p. 611). Os limites de quantificação para os elementos foram:

em %, Al (0,4), Fe (0,1), Si (1,2), Ca (0,05), Mg (0,07), Na (0,04), K (0,15), Ti (0,03) e em mg kg<sup>-1</sup>, P (32), S (54), Cr (10), Cu (4), Zn (14), Ni (8), Mn (73), Sr (19), Zr (15), Pb (2), V (11).

#### 4. RESULTADOS

As características químicas do lodo, pH, matéria orgânica e umidade, foram apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do lodo.

Lodo	pH(KCl)	MO <sup>1</sup> (%)	Umidade <sup>2</sup> (%)	
	pH(H <sub>2</sub> O)		Base seca	Base úmida
5	5,9	18,2	253,8±7,9	71,5±1,2
	6,6		(n=10)	(n=10)
7	6,4	18,2	266,0±12,6	72,7±0,9
	7,2		(n=16)	(n=16)

<sup>1</sup> MO: matéria orgânica

<sup>2</sup> Umidade = média ± desvio padrão

Os valores de pH do lodo apresentaram caráter levemente ácido a neutro e semelhantes aos valores de outro lote (Lodo 1) coletado na mesma estação em maio de 2015, pH<sub>(KCl)</sub> 6,7 e pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> 7,2 (MONTALVAN, 2016, p. 82). O pH é uma característica importante na mobilidade de metais. Em geral, a lixiviação de metais aumenta em meio ácido e diminui em meio básico (ALLOWAY, 1990, p. 9). Segundo Richter (2001, p. 6), o pH de lodo de ETA proveniente do tratamento da água com coagulante férrico apresenta um caráter básico variando de 7,4 a 9,5 e segundo Hsieh e Raghu (2008, p. 371) o pH deste tipo de lodo varia de 6,25 a 7,15.

Os dois lotes do lodo (5 e 7) apresentaram 18,2% de matéria orgânica. Esse teor está dentro do intervalo entre 15% e 25% determinado em lodo de ETA tratado com sulfato de alumínio (RICHTER, 2001, p. 4). A matéria orgânica é uma fração do lodo que pode influenciar na mobilidade dos elementos presentes nele.

O lodo desidratado em centrífuga apresentou um teor de umidade elevado de 72%

aproximadamente. O teor de sólidos entre 20 e 25% (MONTALVAN, 2016, p. 69), não determinado neste trabalho, complementa a composição do lodo.

A composição química elementar do lodo foi apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química elementar do lodo.

Elementos	L 5 <sup>1</sup>	L 7 <sup>1</sup>	L 7 <sup>2</sup>	L 1 <sup>2,3</sup>	Média	Dpr <sup>4</sup> (%)
	Composição elementar (%)					
Fe	51,8	53,2	43,8	32,2	45,2	21,3
Si	6,53	5,60	4,06	8,54	6,18	30,3
Al	3,65	3,18	1,93	4,71	3,37	34,2
Ca	1,43	2,29	1,43	1,14	1,57	31,6
K	0,79	0,66	0,37	0,83	0,66	31,4
Mg	0,28	0,28	0,16	0,26	0,25	23,4
Ti	0,24	0,21	0,16	0,25	0,22	18,8
Cl	0,14	0,17	0,12	0,13	0,14	15,4
Na	0,10	0,05	0,06	0,07	0,07	30,9
Composição elementar (mg kg <sup>-1</sup> )						
Mn	3176	2092	1472	1627	2092	36,8
P	1441	1528	1004	1087	1265	20,4
S	1160	1360	1200	944	1166	14,7
Ni	236	142	<LQ <sup>5</sup>	1196	525	111
Cu	304	256	160	936	414	85,3
Cr	397	137	274	164	243	48,8
Sr	186	178	254	288	227	23,5
Zn	225	104	<LQ <sup>5</sup>	160	163	37,2
Zr	44	37	<LQ <sup>5</sup>	104	62	59,7
Pb	<LQ <sup>6</sup>	<LQ <sup>6</sup>	<LQ <sup>5</sup>	102	-	-
V	<LQ <sup>6</sup>	<LQ <sup>6</sup>	<LQ <sup>5</sup>	28	-	-

<sup>1</sup> Analisado no Laboratório CEQMA-IPEN

<sup>2</sup> Analisado no Laboratório LCT-USP

<sup>3</sup> Valores calculados para o Lodo 1 com base nos dados de Montalvan (2016, p.84)

<sup>4</sup> Dpr: desvio padrão relativo

<sup>5</sup> LQ (Limite de Quantificação): <0,01% (Ni, Zn, Zr, Pb, V)



<sup>6</sup> LQ (Limite de Quantificação): <2 mg kg<sup>-1</sup> (Pb), <11 mg kg<sup>-1</sup> (V)

O lodo é composto majoritariamente de ferro, seguido de silício, alumínio e cálcio. A quantidade elevada de ferro pode ser explicada pelo agente coagulante (FeCl<sub>3</sub>) utilizado no tratamento de água bruta. Os elementos potencialmente tóxicos, Ni, Cu, Cr, Zn e Pb foram encontrados no lodo em menores quantidades, da ordem de mg kg<sup>-1</sup>. O desvio padrão relativo da média dos elementos nos três lotes de lodo (L7, L5 e L1) variaram de 14,7 a 111%. Isso indica uma variabilidade da composição química do lodo, principalmente para os elementos em menor quantidade, como Ni, Cu e Cr.

## 5. CONCLUSÕES

A análise da composição química do lodo indicou uma variabilidade na concentração dos elementos potencialmente tóxicos, Cu, Cr e Ni, e um pH ligeiramente ácido que pode favorecer a mobilidade destes elementos. É bom ressaltar que a concentração total destes elementos no lodo não representa a concentração deles no lixiviado do lodo. A concentração destes elementos no lixiviado do lodo não foi apresentada neste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro (processo 2013/50448-8).

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) pelo fornecimento das amostras do lodo de ETA de Cubatão.

## REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1990. 321 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13600. Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C**. Rio de Janeiro, 1996.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p.

GUILHEN, S. N. *et al.* Application of the fundamental parameter method to the assessment of major and trace elements in soil and sediments from Osamu Utsumi uranium mine by WDXRF. **IntEngJ. Ouro Preto** v. 72, n. 4, p. 609-617, oct./dez. 2019.

HSIEH, H. N.; RAGHU, D. Characterization of Water Treatment Residuals and Their Beneficial Uses. *In: GEOCONGRESS: GEOTECHNICS OF WASTE MANAGEMENT AND REMEDIATION*, 177., 2008, New Orleans. **Proceedings [...]**. New Orleans: American Society of Civil Engineers, 2008.

MONTALVAN, E. L. T. **Investigações do Comportamento Geotécnico de Misturas de Solo Arenoso com Lodo da Estação de Tratamento de Água do Município de Cubatão, SP**. 2016. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

RITCHER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2001. 112 p.

TSUGAWA, J. K. *et al.* Importance of composing representative samples according to the Theory of Sampling (TOS) for the reuse of water treatment sludge. *In: PANAMERICAN CONFERENCE*, 117., 2019, **Proceedings [...]**

## Caracterização de lodo de tratamento de água para abastecimento através de sistema de eletroflotofiltração (SEFF)

Tales Dias Aguiar, Doutorando na Universidade Federal de Goiás (UFG), [tales\\_aguiar@hotmail.com](mailto:tales_aguiar@hotmail.com)  
Paulo Sérgio Scalize, Professor Associado I na Escola de Engenharia Civil e Ambiental e Sanitária, [pscalize.ufg@gmail.com](mailto:pscalize.ufg@gmail.com)

**Palavras Chave:** Lodo flotado, Água de lavagem de filtro, Tratamento de água para abastecimento, Sistema de eletroflotofiltração (SEFF)

### 1. INTRODUÇÃO

A geração de lodo decorrente do tratamento de água para abastecimento é inerente ao processo, entretanto, sua importância ainda é negligenciada ao se analisar a implantação de tecnologias. Dessa forma, tecnologias de tratamento que atendam as normativas de potabilidade e que consigam ser menos impactantes ambientalmente com seus resíduos gerados estão sendo cada vez mais empregadas.

Dentre essas tecnologias mais amigáveis ambientalmente se destaca a eletrocoagulação/eletroflotação (EC/EF) que gera menos lodo do que os processos de coagulação química, como o ciclo completo (Ghernaout e Ghernaout, 2011; Vik et al., 1984). Os lodos da EC/EF são mais concentrados já que os flocos tem menos água em sua composição, diminuindo o volume (até metade de volume de lodo do que os processos de coagulação química tradicionais) e os custos de secagem e disposição do lodo (Hashim et al, 2020).

O sistema de eletroflotofiltração (SEFF) é um sistema composto por EC/EF com posterior filtração. O funcionamento do sistema se dá através da admissão do afluente de forma ascendente, passando entre eletrodos de alumínio cilíndricos e concêntricos, que estão no interior de um tubo de acrílico circular.

O objetivo do trabalho consiste em caracterizar o lodo gerado pelo tratamento de água bruta para abastecimento humano utilizando o SEFF no que tange a quantidade de sólidos suspensos totais e estimativa da geração de lodo seco.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio com a vazão de entrada no SEFF de 0,218 m<sup>3</sup>/h variando-se a voltagem em 10, 20 e 30 Volts. A água bruta foi coletada na entrada do sistema e a água já clarificada pela flotação foi coletada em um ramal lateral, abaixo 60 cm da superfície. O manancial de abastecimento é o João Leite, em Goiânia – GO.

A concentração de sólidos suspensos totais foi realizada segundo o método 2540B (APHA/AWWA/WEF, 2012), enquanto o volume de lodo gerado foi determinado através do ensaio de sedimentabilidade no cone Imhoff (ABNT, 1988).

A massa de lodo gerado durante o processo de eletrocoagulação foi determinada pela multiplicação da quantidade de sólidos suspensos totais pelo volume sedimentado encontrado para o lodo flotado. Enquanto a relação entre a turbidez da água bruta e os sólidos suspensos totais (SST) foi feita através da divisão do segundo pelo primeiro.

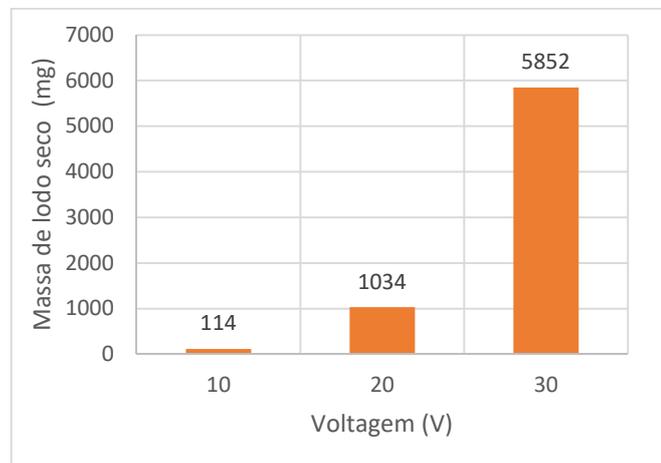
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A média da relação entre SST e turbidez encontrada foi de 2,04 corroborando com Di Bernardo et al (2012) para baixos valores de cor verdadeira.

A Figura 1 apresenta a quantidade de massa gerada pelo processo de eletroflotação apresentado pelo SEFF nas três voltagens ensaiadas, mostrando uma relação entre o aumento da voltagem e o aumento da massa de lodo gerada. Essa situação era esperada, uma vez que o aumento da voltagem incorre em aumento

do desprendimento de material do eletrodo, fazendo com que a concentração do coagulante se eleve no afluyente ao SEFF.

Figura 1. Massa de lodo gerada pelo tratamento de água no SEFF.



A Tabela 1 compara os valores de sólidos suspensos totais encontrados no tratamento com o SEFF com valores apresentados por Di Bernardo *et al.* (2012) e demonstra que o sistema apresenta valores próximos ao de um decantador convencional de limpeza manual, contudo, em 30 volts a quantidade se aproxima dos valores apresentados na flotação (Figura 2). Tal situação pode ter ocorrido por conta da raspagem do lodo no SEFF ter sido feita de forma manual, arrastando água para composição da amostra, diminuindo a concentração.

Tabela 1. Comparação entre a concentração e sólidos suspensos totais (SST) do SEFF com valores de decantadores convencionais com limpeza manual e flotadores com raspagem mecanizada.

Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Voltagem (V)	SST (g/L)		
		SEFF	Flotação	Decantador
0,218	10	4,14		
	20	4,72	10 a 30*	2 a 10*
	30	8,74		

\*Di Bernardo *et al.* (2012)

Figura 2. Lodo eletroflotado do SEFF.



Comparando a quantidade de lodo gerado pelo SEFF com a quantidade de água tratada por ele, conclui-se que para as voltagens de 10, 20 e 30 V, se tem, respectivamente, uma geração de 0,01; 0,06 e 0,15 % em volume. Dessa forma, a qualidade do tratamento quanto aos parâmetros de potabilidade da água tratada deve justificar a escolha da maior voltagem, já que o aumento de lodo gerado é latente, ao se comparar com a menor voltagem empregada.

#### 4. CONCLUSÕES

O lodo flotado do SEFF apresentou quantidade de sólidos suspensos totais compatíveis com unidades de tratamento de flotação que apresentam problemas quanto à raspagem do lodo flotado.

Dentre as três voltagens analisadas, a melhor seria a de 10 volts pela menor geração de lodo flotado, sendo que em todos os casos há atendimento aos padrões de potabilidade existentes.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologia (CNPq) pela bolsa de doutorado.

#### REFERÊNCIAS

American Public Health Association – APHA/AWWA/WEF;  
American Water Works Association – AWWA; **Water Environment Federation - WEF. Standard methods for**



- the examination of water and wastewater.** Washington, DC, American Public Health Association, Volume 22, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10561. Determinação de resíduo sedimentável – método do cone Imhoff.** Rio de Janeiro, 1988.
- VIK, E. A.; CARLSON, D. A.; EIKUM, A. S.; GJESSING, E. T. **Eletrocoagulation of potable water.** Water Research, Elsevier LTD, Volume 18, Páginas 1355-1360, 1984.
- GHERNAOUT, D.; GHERNAOUT, B. **On the controversial effect of sodium sulphate as supporting electrolyte on electrocoagulation process: A review.** Desalination and Water Treatment, Páginas 37-41, 2011.
- DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de água.** Editora LDIBE LTDA, volume 2, São Carlos, São Paulo, 2008.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Di B. VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** Editora LDIBE LTDA, São Carlos, São Paulo, 2012.
- HASHIM, K. S.; ALKHADDAR, R; SHAW, A; KOT, P; AL-JUMEILY, D.; ALWASH, R; ALJEFERY, M. H. **Eletrocoagulation as an Eco-Friendly River Water Treatment Method.** Advances in water resources engineering and management, Springer, Volume 39, Páginas 219-235, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8181-2\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8181-2_17)

## Caracterização do LETA da ETA Santa Bárbara (Pelotas, RS)

Daniele Martin Sampaio, Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP),  
dmartinsampaio@gmail.com

Karen Gularte Peres Mendes, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), karperes@gmail.com  
Laone Hellwig Neitzel, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), laoneneitzel@pelotas.ifsul.edu.br  
Carlos Vinícius Caetano Gonçalves, Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP),  
vinciussanep@hotmail.com

**Palavras-chave:** Lodo, resíduos de ETA, policloreto de alumínio, PAC

### 1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) trazem, além dos benefícios à população, impactos negativos ao meio ambiente, especialmente pela geração de resíduos. Durante o processo de tratamento de água, os efluentes gerados se constituem, principalmente, pelo lodo acumulado nos decantadores (LETA) e água de lavagem dos filtros (ASCE, 1996). Esses resíduos consistem em uma combinação entre fase líquida e sólida, originalmente presentes no manancial, constituídos, basicamente, de partículas de natureza orgânica e inorgânica provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areias, argilas, cálcio, magnésio, ferro e manganês (GRANDIN *et al.*, 1993). Outrossim aos elementos provenientes da água captada, também formam o lodo de ETA o coagulante, através de hidróxidos de alumínio e ferro (KONDAGESKI *et al.*, 2013).

A necessidade de conhecer melhor o problema tem incentivado pesquisas no intuito de avaliar o potencial tóxico, quantificar e caracterizar os resíduos de ETA (REIS; CORDEIRO, 2013).

Diante desse contexto, a presente pesquisa investiga o LETA da Estação de Tratamento de Água Santa Bárbara, localizada no município de Pelotas (RS).

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Área de estudo

Pelotas é um município da região sul do Rio Grande do Sul e está situado às margens do Canal São Gonçalo, que liga a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim, onde deságua o principal manancial de abastecimento da cidade – a Barragem Santa

Bárbara (SIMON *et al.*, 2010), apresentada na Figura 1.

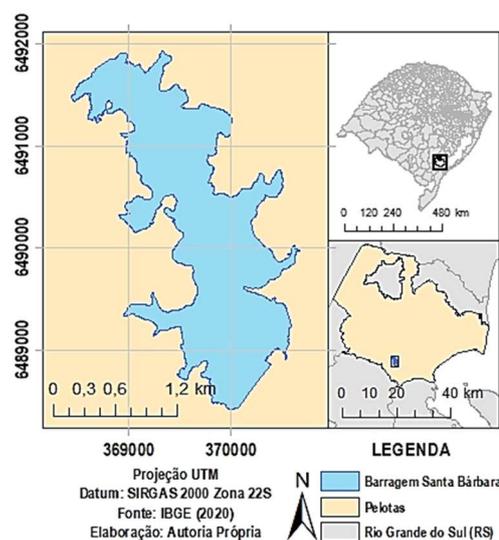


Figura 1. Localização da Barragem Santa Bárbara, em Pelotas (RS)

Fonte: IBGE (2020)

Construída na forma de duas etapas independentes, a ETA Santa Bárbara trata a água da Barragem Santa Bárbara. Cada etapa é formada por (i) um tanque de mistura rápida, onde há adição do coagulante – Policloreto de alumínio PAC, (ii) uma calha de distribuição, na qual inicia a mistura lenta, (iii) três floco-decantadores e (iv) cinco filtros de areia. O LETA é expurgado mensalmente através do esgotamento e limpeza interna do decantador. Já os filtros são lavados diariamente por retrolavagem com fluxo ascendente de 127 m<sup>3</sup> de água tratada por lavagem.

## 2.2. Caracterização do LETA

As análises dos parâmetros físico-químicos estão dispostas na Tabela 1, conforme Brito (2019).

Além dos resíduos gerados, para os balanços de massa da estação, foram feitas análises de turbidez da água bruta, da água decantada e da água filtrada.

Tabela 1. Caracterização física do LETA

Parâmetro	Unid.	Metodologia
Sólidos Suspensos (SST)	mg L <sup>-1</sup>	Gravimétrico
Sólidos Dissolvidos (SDT)	mg L <sup>-1</sup>	Gravimétrico
Sólidos Totais (ST)	mg L <sup>-1</sup>	Gravimétrico
Turbidez	NTU	Turbidimetria
pH	-	Potenciometria
Resistividade de Torta (R <sub>TORTA</sub> )	m kg <sup>-1</sup>	Ensaio de Filtração
Viscosidade (v)	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	Saybolt
Densidade (ρ)	g cm <sup>-3</sup>	Gravimétrico

Fonte: Autoria própria.

As análises seguiram as recomendações do manual *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Para as análises químicas (sólidos e pH), foram realizadas a análise estatística descritiva de medida de tendência central (média) e medidas de dispersão (variância, desvio padrão e coeficiente de variação CV). As outras análises, por terem sido feitas em um laboratório externo, não puderam ser replicadas.

## 2.3. Quantificação do LETA

A produção de LETA foi estimada através de balanço de massa a partir dos teores de sólidos analisados previamente. Como a maioria dos trabalhos e equações empíricas disponíveis na literatura para estimar a produção de lodo utilizam como coagulante a base de alumínio o sulfato de alumínio, foi necessário estimar a geração de lodo a partir do uso do PAC, para uma melhor aproximação das características do lodo gerado, utilizando a água da própria barragem.

A partir de um teste de jarros (60 s de mistura rápida, 3 min de misturas a 80 rpm e 60 rpm, e uma mistura lenta de 4 minutos a 25 rpm), a quantificação foi feita através de uma análise de sólidos suspensos na água coagulada, conforme

Feitosa e Consoni (2008), utilizando dosagens de 48 a 56 mg L<sup>-1</sup> de PAC - faixa de utilizada no tratamento em escala real. A partir disso, através de regressão linear, relacionou-se a dosagem utilizada na água bruta com a geração de lodo. A quantificação resultante foi comparada com os resultados dos cálculos de equações empíricas utilizando sulfato de alumínio abordadas por Oliveira (2016): (i) American Society of Civil Engineers – ASCE; (ii) Association Française Pour L'étude Des Eaux – AFEE; (iii) CETESB; (iv) Cornwell; (v) Kawamura.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Caracterização

O tratamento estatístico dos principais parâmetros físicos para o lodo proveniente dos decantadores está resumido na Tabela 2, juntamente com alguns dados dos lodos (1) e (2), estudados por Silveira (2012) e do lodo (3) por Oliveira e seus colaboradores (2012).

Tabela 2. Resultados da caracterização do LETA.

Análise	Média	CV %	Literatura		
			(1)	(2)	(3)
SST	57.300	2,0	11.367	13.608	10.623
ST	61.470	5,8	15.685	16.920	N/I
SDT	5.560	5,8	4.318	3.312	N/I
pH	5,85	2,2	N/I	N/I	7,00
v	0,1	-	-	-	-
ρ	1,05	-	-	-	-
R <sub>TORTA</sub>	1,51	-	-	-	-

N/I – Não informado pela fonte bibliográfica

Fonte: Autoria Própria

Como esperado, houve a presença de grande concentração de sólidos, sendo o principal problema do lançamento no corpo hídrico. As diferenças de sólidos dissolvidos e totais do lodo e os obtidos pela literatura podem estar associadas ao coagulante e à característica da água bruta.

É possível perceber, também, que o Coeficiente de Variação (CV) se apresenta baixo, mostrando grande concordância entre as repetições analisadas. Analisando as propriedades físicas, o lodo apresentou uma resistividade específica média de  $1,51 \times 10^9$  m kg<sup>-1</sup>. À vista disso, o lodo se apresentou de fácil filtrabilidade (ASCE, 1996).

### 3.2. Geração de lodo na coagulação

O potencial gerador de lodo pela utilização de PAC no processo de coagulação foi estimado a partir da associação da concentração de SST da água bruta com a respectiva dosagem de coagulante, gerando a relação mostrada na Figura 2.

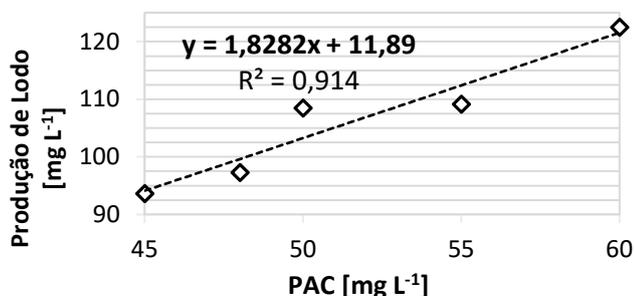


Figura 2. Contribuição de sólidos pelo PAC

Fonte: Autoria própria.

### 3.3. Quantificação

Para o balanço de massa e o cálculo pelas equações empíricas, foram utilizados dados de turbidez e sólidos da água bruta, decantada e tratada, a contribuição do PAC e dos parâmetros descritos na Tabela 3. Os resultados do balanço de massa estão na Tabela 4 e das equações empíricas na Figura 3.

Tabela 3. Dados para balanço de massa

Parâmetros	Valor	Un.
Volume de água nos decantadores	2.000	m <sup>3</sup>
Dimensão dos decantadores	10 x 50 x 4	m
Número de decantadores	6	Un.
Água para lavagem dos filtros	1270	m <sup>3</sup>
Produção média de água tratada	60.000	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Intervalo de descargas de LETA	30	dias
Sólidos no LETA	57,30	kg m <sup>-3</sup>
Turbidez da água bruta	34,18	NTU
SST da água bruta	70,29	mg L <sup>-1</sup>
Dosagem de PAC	52	mg L <sup>-1</sup>
Cor da água bruta	218	uH

Fonte: Autoria Própria

Tabela 4. Resultados da produção de LETA

Valor	Produção mensal		Lodo por decantador [m <sup>3</sup> ]	Altura do lodo [m]
	[ton]	[m <sup>3</sup> ]		
<b>Média</b>	143,5	2.504,4	417,4	0,8
<b>Mediana</b>	145,4	2.537,5	422,9	0,8
<b>Máximo</b>	156,9	2.737,7	456,3	0,9
<b>Mínimo</b>	129,1	2.252,9	375,5	0,8

Fonte: Autoria Própria

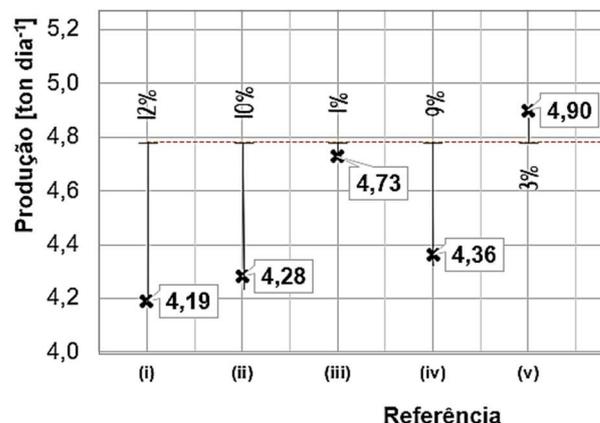


Figura 3. Resultados obtidos pelas equações empíricas

Fonte: Autoria própria.

Os valores encontrados pelas fórmulas empíricas se aproximaram do valor encontrado por balanço de massa (4,8 ton dia<sup>-1</sup>), com vazões em mesma ordem de grandeza, sendo o mais próximo o encontrado pela CETESB (iii) – erro relativo de 1%. A proximidade dos resultados indica uma boa estimativa da produção de lodo, mesmo utilizando, em suas deduções, outro coagulante.

## 4. CONCLUSÕES

Com a metodologia aplicada nesta pesquisa, se atingiu os objetivos propostos, servindo como contribuição para o SANEP a análise físico-química e quantificação do lodo, a fim de começarem as buscas para uma solução para os problemas ambientais. O LETA foi estimado, através de balanços de massa em cerca de 450 m<sup>3</sup> mês<sup>-1</sup> de lodo para cada decantador, totalizando aproximadamente 2.700 m<sup>3</sup> mês<sup>-1</sup>, valor este que concorda com os resultados obtidos utilizando equações empíricas. Um aspecto que merece destaque é a quantificação da contribuição de sólidos pelo coagulante PAC, já que pouco se tem na literatura sobre a contribuição dos coagulantes usados nas ETAS, a não ser sulfato de alumínio.

## AGRADECIMENTOS

Ao SANEP, na pessoa do Sr. Carlos Vinícius Gonçalves, aos colegas envolvidos direta ou indiretamente nesta pesquisa e ao IFSul na figura dos professores Karen Mendes e Laone Neitzel.



## REFERÊNCIAS

- APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd edition. Washington, D.C., USA, 2012.
- ASCE. **Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residual**. New York, 1996.
- BRITO, T. M. de. **Caracterização de resíduos gerados em ETA de filtração direta em escala real**. 2019. 54f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- FEITOSA, C. A. G.; CONSONI, Â. J. Análise de oportunidades de minimização da geração de lodo na Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista, São Paulo. **INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v.3, n.2, Seção Interfacehn2, abr/agosto. 2008.
- GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993, Natal. **Anais...** Natal: ABES, 1993. v. 2, p. 324-341.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas territoriais**. Edição 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 08 mar. 20.
- KONDAGESKI, J. *et al.* Pesquisas Interdisciplinares e a estruturação dos estudos da Rede Interinstitucional de Pesquisa em Lodo de Água. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas**. Curitiba: SANEPAR, 2013. p. 47-66.
- OLIVEIRA, C. A.; BARCELO, W. F.; COLARES, C. J. G. Estudo do Reaproveitamento da Água de Lavagem de Filtro na ETA Anápolis/GO. In: **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia – GO**, 2012.
- OLIVEIRA, I. Y. Q. de. **Gerenciamento do lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul: uma análise crítica**. Dissertação (Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2016.
- REIS, R. F.; CORDEIRO, J. S. Sustainable uses and method for water treatment plant sludges. **10.14279/depositonce-3753**, 2013.
- SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de água por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) — Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
- SIMON, A. L. H.; TRENTIN, G.; CUNHA, C. M. L. da. Avaliação da dinâmica do uso da terra na bacia do Arroio Santa Bárbara

– Pelotas (Brasil), no período de 1953 a 2006. **Scripta Nova**, v.14, n.327, 2010.

## Caracterização do lodo das ETAs Cubatão e Taiaçupeba e seu comportamento em misturas com solo

Edy L. T. Montalvan, [edytemon@gmail.com](mailto:edytemon@gmail.com)  
Maria E. G. Boscov, Universidade de São Paulo, [meboscov@usp.br](mailto:meboscov@usp.br)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Resíduos sólidos, Mistura solo-lodo, Compactação

### 1. INTRODUÇÃO

Adequada disposição final dos lodos de estação de tratamento de água (LETAs) é uma das grandes dificuldades que enfrentam as companhias de saneamento básico devido às restrições ambientais (CONAMA, 2011) e ao grande volume de lodo gerado diariamente. Diversas alternativas de disposição e reuso dos LETAs tem sido propostas (Babatunde e Zhao, 2007), entre elas, o reuso em obras geotécnicas, por exemplo, impermeabilização de fundo (*liners*) ou cobertura em aterros sanitários (Roque e Carvalho, 2006; Silva e Hemsli, 2018). Uma completa caracterização dos LETAs é fundamental para a avaliação das alternativas de disposição. Neste artigo, é apresentada a caracterização dos lodos das ETAs Cubatão e Taiaçupeba e uma avaliação do comportamento, do ponto de vista da compactação, de misturas desses lodos com solo em diversas proporções, com o objetivo de avaliar o seu potencial uso em obras geotécnicas.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Materiais

Os lodos usados nesta pesquisa foram coletados nas ETAs Cubatão e Taiaçupeba, localizadas nos municípios de Cubatão e Suzano, respectivamente, no estado de São Paulo. A ETA Cubatão tem produz 4.5 m<sup>3</sup>/s de água potável e utiliza cloreto férrico como coagulante no processo de tratamento. Por outro lado, a ETA Taiaçupeba tem capacidade de produção de 15 m<sup>3</sup>/s e utiliza sulfato de alumínio e um polímero de alto peso molecular (*superfloc8392*). Ambas ETAs realizam o desaguamento do lodo mediante centrífugas. As amostras da ETA Cubatão foram coletadas diariamente entre os dias 29 de janeiro e 23 de fevereiro de 2018 e preparada logo uma amostra

única representativa, diminuindo assim a influência da variabilidade; as amostras da ETA Taiaçupeba foram coletadas entre os dias 8 de abril e 3 de maio de 2019. Na preparação de misturas com lodo foram utilizados dois solos lateríticos, um arenoso (SC) e um argiloso (CL-ML).

#### 2.2. Métodos

A composição mineralógica dos lodos foi determinada mediante Difração de Raios X (DRX) em amostra seca e pulverizada. A caracterização química dos lodos foi realizada mediante análise de Fluorescência de Raios X (FRX) e determinação dos parâmetros químicos pH (em H<sub>2</sub>O), CTC, e matéria orgânica (Walkley-Black), de acordo aos métodos EMBRAPA (Donagema et al., 2011).

A caracterização geotécnica dos lodos consistiu na determinação da distribuição granulométrica (peneiramento e sedimentação, e laser) e limites de consistência (liquidez e plasticidade).

Foram preparadas misturas em diversas proporções solo:lodo em massa úmida. O comportamento das misturas foi avaliado mediante ensaios de compactação com energia Proctor Normal. Dado que diversos autores tem reportado a influência da secagem prévia no comportamento do lodo (Wang et al., 1992; Montalvan e Boscov, 2018), foi avaliado o efeito da secagem na compactação das misturas solo-lodo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Caracterização mineralógica e química

A composição mineralógica dos lodos é apresentada na Tabela 1. O LETA Cubatão apresenta minerais típicos da bacia do rio Cubatão. O LETA Taiaçupeba apresentou maioritariamente fase amorfa ou não cristalina, provavelmente

devido a um elevado conteúdo de matéria orgânica, pois a água é proveniente de um reservatório, onde é comum a presença de algas.

Tabela 1. Composição mineralógica.

LETA Cubatão	LETA Taiaçupeba
Quartzo [SiO <sub>2</sub> ]	Fase amorfa
Goethita [FeO(OH)]	Quartzo <sup>1</sup> [SiO <sub>2</sub> ]
Muscovita [KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> ]	Gibbsita <sup>1</sup> [Al(OH) <sub>3</sub> ]
Caulinita [Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> ]	Caulinita <sup>1</sup> [Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> ]

<sup>1</sup> Obs.: Possível presença

Os resultados das análises FRX são apresentados na Tabela 2. O LETA Cubatão apresenta elevado teor de ferro, relacionado ao uso do coagulante cloreto férrico. O LETA Taiaçupeba apresenta elevado teor de alumínio, relacionado também ao coagulante usado no tratamento, sulfato de alumínio. O valor de perda ao fogo do LETA Taiaçupeba corresponde a solos muito orgânicos, o que concorda com a predominância da fase amorfa na análise DRX.

Tabela 2. Composição química (%massa seca).

Elemento	LETA Cubatão	LETA Taiaçupeba
SiO <sub>2</sub>	18.30	4.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.89	29.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.00	12.30
MnO	0.21	0.32
MgO	0.44	<0.10
CaO	1.59	0.49
Na <sub>2</sub> O	0.10	<0.10
K <sub>2</sub> O	1.00	<0.10
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.45
PF <sup>1</sup>	22.00	52.60

<sup>1</sup> PF = Perda ao fogo

Os valores dos parâmetros químicos pH, CTC, e matéria orgânica para o LETA Cubatão foram 7.2, 255 mmolc.kg<sup>-1</sup>, 24 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente; e para o LETA Taiaçupeba 6.4, 73 mmolc.kg<sup>-1</sup>, 267 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 3.2. Caracterização geotécnica

Na Figura 1, são apresentadas as curvas de distribuição granulométrica dos lodos. Por um lado, observa-se uma forte influência do

coagulante na sedimentação realizada sem defloculante. Por outro lado, nota-se que a granulometria mediante laser com amostra seca e úmida é similar àquela obtida por sedimentação sem defloculante. Portanto, o ensaio laser não é confiável para análise granulométrica de LETAS.

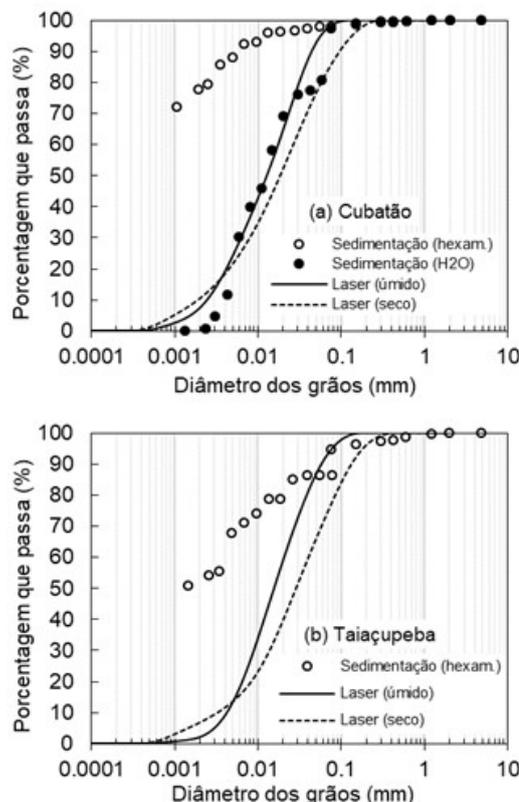


Figura 1. Granulometria LETAs (a)Cubatão; (b)Taiaçupeba.

A Figura 2 apresenta os valores dos limites de consistência dos lodos e das misturas solo-lodo. Ambos lodos são muito plásticos, com valores de limite de liquidez de 237 e 536% para o LETA Cubatão e Taiaçupeba, respectivamente.

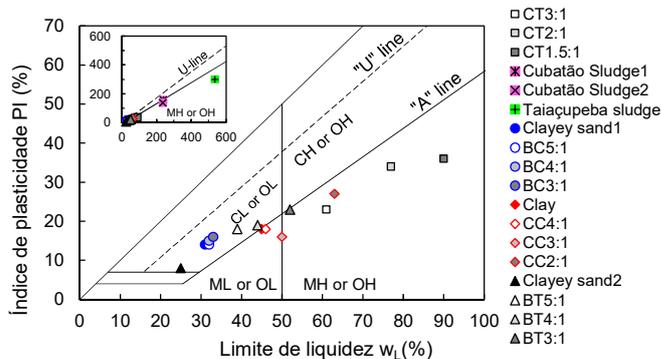
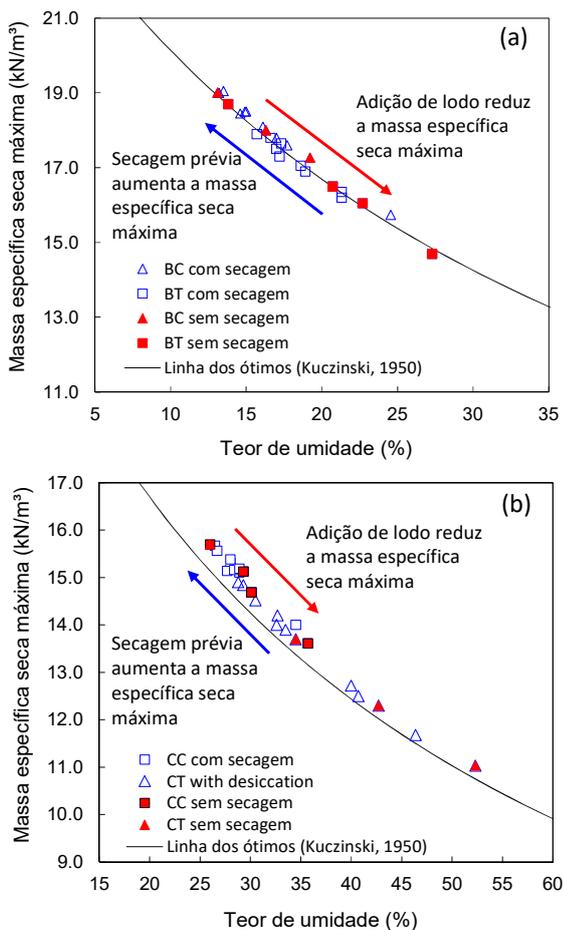


Figura 2. Limites de consistência dos LETAS e misturas.

### 3.3. Comportamento das misturas solo-lodo

A adição de lodo aos solos provocou redução da massa específica seca máxima e aumento do teor de umidade ótimo, como mostrado na Figura 3. A secagem prévia das misturas, porém, causou uma recuperação desses parâmetros de compactação. Esse efeito está provavelmente relacionado à perda irreversível da plasticidade do lodo e à cimentação das partículas finas do lodo, como reportado previamente por Montalvan e Boscov



(2018).

**Figura 3.** Parâmetros de compactação: (a) misturas com solo arenoso; (b) misturas com solo argiloso.

## 4. CONCLUSÕES, AGRADECIMENTOS E REFERÊNCIAS

Uma completa caracterização dos LETAs é fundamental para o avanço no conhecimento sobre seu comportamento e adequada avaliação do seu potencial para reuso. Como foi observado, os LETAs tem algumas propriedades diferentes às da maioria dos solos naturais, por exemplo:

elevado limite de liquidez, perda de plasticidade e forte cimentação com a secagem; essas propriedades são influenciadas pelo tipo de coagulante e origem da água bruta na ETA. Devido à presença de coagulantes nos LETAS, o ensaio de granulometria por laser (MALVERN) não fornece resultados satisfatórios. Finalmente, a compactação das misturas solo-lodo é altamente influenciada pelo teor de lodo e pela secagem prévia. Os resultados mostraram que desde o ponto de vista da compactação, as misturas solo-lodo apresentaram potencial para uso em obras geotécnicas como revestimento e cobertura em aterros sanitários, porém, ensaios mais específicos são necessários.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo nº 2017/24056-6).

### REFERÊNCIAS

- BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. Constructive Approaches toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 37(2), 2007.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama No 430**, DE13-05-2011, 430, 2011.
- DONAGEMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed, Rio de Janeiro, Brazil: Embrapa Solos, 2011.
- MONTALVAN, E. L. T.; BOSCOV, M. E. Geotechnical Parameters of Mixtures of a Tropical Soil with Water Treatment Sludge. In: VIII International Congress on Environmental Geotechnics, Vol. 1, ICEG 2018. **Proceedings [...]**. Singapore, Netherlands: Springer, 2018.
- ROQUE, A. J.; CARVALHO, M. Possibility of using the drinking water sludge as geotechnical material. In: IV International Congress on Environmental Geotechnics, ICEG 2006. **Proceedings [...]**. London, England: Thomas Telford Services Limited, p. 1535–1542, 2006.
- SILVA, A. dos S.; HEMSI, P. S. Efeito do Teor de Sólidos na Resistência ao Cisalhamento de um Lodo de ETA Visando seu Uso em Cobertura Diária de Aterros Sanitários. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica—COBRAMSEG, 2018, Salvador, Bahia, Brazil. **Anais...** São Paulo, Brazil: ABMS, 2018.
- WANG, M. C.; HULL, J. Q.; JAO, M. Stabilization Of Water Treatment Plant Sludge For Possible Use As Embankment Material. **Transportation Research Record**, n.1345, 1992.

## ESTADO DA ARTE: LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

*Rosane Freire Boina - rosane.freire@unesp.br*  
*Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP)*

*Lucas Rodrigues Bellotti - l.bellotti@unesp.br*  
*Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista (UNESP)*

**Palavras Chave:** Lodo de eta, ETA, Utilização.

### 1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico é algo imprescindível para o bem estar da humanidade. Está ligado diretamente às boas condições de saúde, sociais e econômicas de uma população. Infelizmente, o cenário brasileiro quanto a essa temática carece urgentemente de avanços práticos/tecnológicos e, conseqüentemente, investimentos financeiros no setor.

Considerando a possibilidade de melhoria no aspecto regulatório, a Lei Federal nº 14.026/2020, conhecida como “Novo Marco Legal do Saneamento Básico”, viabiliza melhorias quanto as lacunas existentes relacionadas ao assunto no país em relação à outras nações, dando início a um processo gradativo de desenvolvimento dos mesmos ao longo dos próximos anos (BRASIL, 2020).

Historicamente, fortes iniciativas no setor de saneamento do Brasil despontaram no início da década de 1970, com as primeiras legislações a respeito do assunto e ações integradas à saúde. O adensamento populacional em centros urbanos emergentes colocava urgência na implantação de premissas, tais como, o fornecimento de água tratada e a coleta e tratamento de esgoto para a população.

As estações de tratamento de água (ETA) instaladas desde então eram projetadas com a preocupação de fornecer um produto final de excelência: água potável (CORDEIRO, 2001). O fato é que, os processos de separação e operações predominantemente empregados para purificação da água bruta envolvem a geração volumosa de resíduo sólido, denominado lodo (RICHTER, 2001).

O lodo de ETA tem origem nos decantadores e nos filtros, suas características se alteram de acordo com as condições de qualidade do manancial de captação de água bruta e também com os produtos químicos utilizados na produção de água (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

A preocupação sobre “o que fazer” com o lodo de ETA surgiu na década de 1980. Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos no Brasil com importante contribuição sobre o assunto, foi produzido por Cordeiro (1993) em forma de Tese de doutorado, com ampla pesquisa para a época, resultando no marco histórico inicial da produção científica no país. A pesquisa evidenciou o potencial poluidor do material para os corpos hídricos mediante a constatação do aumento de concentrações de parâmetros nocivos à qualidade da água.

Em contra partida ao estudo, as primeiras iniciativas do gerenciamento desse resíduo direcionavam o seu descarte nos corpos hídricos. Essa forma de disposição causa graves impactos ambientais ao sistema aquático (CORDEIRO & CAMPOS, 1999; BARBOSA, 2000), especialmente pela presença de grande quantidade produtos químicos nocivos no lodo. No Brasil, desde 1998, essa prática é considerada como Crime Ambiental (BRASIL, 1998).

Por outro lado, a disposição final em aterro sanitário, além de demandar altos custos, contradiz o disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), que rege pelo esgotamento de possibilidades de aplicação dos resíduos antes de sua destinação final ambientalmente adequada. Nesse caso, se faz importante a apresentação de iniciativas para utilização dos mesmos, atendendo as

prerrogativas da economia circular, almejando a conservação e preservação do meio ambiente.

Com o intuito de somar esforços, este trabalho teve por objetivo compilar dados sobre a problemática de lodo de ETA no cenário nacional divulgados em artigos científicos. O foco é uma pesquisa bibliométrica, isto é, uma busca especializada sobre a evolução histórica, qualitativa e quantitativa, de estudos da área em periódicos e revistas eletrônicas.

## 2. MÉTODOS

Para a aferição dos trabalhos científicos nacionais relacionados com a temática lodo de ETA, foram utilizadas três plataformas de busca: SciELO, Biblioteca Virtual de Universidades e Google Acadêmico. A busca dos trabalhos foi realizada utilizando como referência as seguintes palavras chave: “Lodo de eta”, “ETA”, “utilização”. Devido à proximidade lexical, foram previamente desconsiderados os trabalhos listados que, por ventura, tratassem de lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE). Isto posto, o primeiro trabalho encontrado no formato de artigo em periódicos eletrônicos foi no ano de 1997, sendo assim, o intervalo adotado para a análise dos artigos publicados compreendeu os anos de 1997 a 2020.

Os resultados da busca foram organizados e tabulados de duas formas principais. A primeira quanto ao aspecto temporal e quantitativo permitindo observar a evolução histórica sobre o tema. A segunda, também uma análise quantitativa, em relação a abordagem de temas chaves dominantes nos trabalhos encontrados, tais como: uso benéfico (UB), desaguamento (TD), disposição final (DF), e caracterização (CA).

## 3. RESULTADOS

A busca nas plataformas utilizadas retornou com a apresentação de aproximadamente 400 trabalhos relacionados ao lodo de ETA, com uma grande pluralidade de classes: monografias, dissertações, teses e artigos publicados em periódicos científicos.

Diante do foco da pesquisa, o Quadro 1 sumariza uma busca cronológica quantitativa de trabalhos publicados apenas em periódicos científicos e revistas eletrônicas. Foram 251 artigos listados, os resultados mostram uma concentração na divulgação científica muito forte na última década (2011-2020), com mais de 75% dos trabalhos publicados. Em especial, entre 2018 e 2020 houve a divulgação de 74 trabalhos, representando 29,5% do total.

Entre os temas chave, o “uso benéfico” do lodo de ETA o foi mais apresentado (> 40% do total), o que demonstra a dedicação da comunidade científica na busca de alternativas. Outro tema chave abordado nos trabalhos é a caracterização (34,3% dos artigos), indicando a diversidade de composição desse material e seu vínculo com os usos benéficos. Os resultados do filtro aplicado para obter a quantidade de artigo relacionado a cada tema-chave que contempla a temática lodo de ETA estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 1. Artigos publicados em periódicos científicos por ano sobre lodo de ETA.

ANO	QUANTIDADE DE ARTIGO
1997	1
1999	1
2001	1
2004	11
2005	7
2006	5
2007	5
2008	9
2009	7
2010	11
2011	10
2012	20
2013	16
2014	14
2015	19
2016	18
2017	22
2018	30
2019	23
2020	21
TOTAL	251

Fonte: BOINA & BELLOTTI, 2021



Quadro 2. Quantidade de trabalhos divulgados por tema-chave

TEMA	QUANTIDADE DE TRABALHOS
TD	40
UB	105
CA	86
DF	20
TOTAL	251

Fonte: BOINA & BELLOTTI, 2021

Em grande maioria, os estudos nacionais buscam alternativas para incorporação deste resíduo na área da construção civil (concreto, cimento, tijolos) (OLIVEIRA. et al, 2004; RUVIARO. et al, 2020) visto a dominante presença de frações argila, silte e areia (ABNT NBR 10.004/2004; CETESB, 2009). Também direcionando a aplicação do resíduo como material adsorvente de poluentes presentes em águas (FREITAS. et al, 2014), utilização em áreas degradadas (BITTENCOURT. et al, 2012), entre outros.

#### 4. CONCLUSÃO

A temática lodo de ETA é nova no panorama geral do saneamento básico no Brasil e também recente em termos de estudos realizados pela comunidade científica. A investigação realizada permitiu constatar que pesquisadores estão buscando soluções técnicas e tecnológicas para atribuir novas funções e funcionalidades para o lodo. É esperado, para os próximos anos, maior conscientização das operadoras de saneamento bem como melhor direcionamento regulatório sobre a temática.

#### REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10004: Resíduos sólidos — classificação, Rio de Janeiro, 2004.
- BARBOSA, R.M. (2000). Avaliação do impacto de efluentes (lodos) de ETAs à biota aquática através de testes de toxicidade. São Carlos, 199p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSÉ, M. M.; MARIN, L. M. K. S.; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de

estações de tratamentos de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 315-324, 2012.

BRASIL. Presidência da República Federativa do Brasil. Legislação Federal Brasileira. Brasília. Lei Federal nº 9.605 de 1998. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/legislacao/>.

BRASIL. Presidência da República Federativa do Brasil. Legislação Federal Brasileira. Brasília. Lei Federal nº 14.026 de 2020. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/legislacao/>.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo: Relatórios. São Paulo: CETESB, 2009.

CORDEIRO, João Sérgio; CAMPOS, José Roberto. Problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de água. 1993. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

CORDEIRO, J.S.; CAMPOS, J.R. (1999). O impacto ambiental provocado pela indústria da água. Revista Saneamento Ambiental, São Paulo, ano X, n.50, março/ abril, p.52-57.

CORDEIRO, João Sérgio. Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: ANDREOLI, Cleverton Vitório (coord.). Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos. Curitiba: 2001. p. 140 – 160.

FREITAS, L. C. et al. A utilização de lodo ETA em coluna de adsorção para a remoção de amoxicilina de águas contaminadas. X Encontro Brasileiro sobre Adsorção, 2014.

Google Acadêmico, Disponível em: <https://scholar.google.com.br/?hl=pt>.

Ministério do Meio Ambiente, Plano Nacional de Resíduos Sólidos, Brasil, 2012. Disponível em [https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos\\_diversos\\_do\\_portal/PNRS\\_Revisao\\_Decreto\\_280812](https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revisao_Decreto_280812).

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F.. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. Cerâmica, São Paulo, v. 50, n. 316, p. 324-330, Dec. 2004.



RICHTER, C.A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de águas. 102p. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001.

RUVIARO, Artur Spat et al. Incorporação de lodo calcinado de estação de tratamento de água como material cimentício suplementar. *Ambient. constr.*, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 243-260, Dec. 2020.

Scientific Electronic Library Online - SciELO, Disponível em: <https://scielo.org/>.

TSUTIYA. M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações e tratamento de água do Estado de São Paulo. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Paraíba, 2001. Anais... ABES: João Pessoa. 2001.

## Influência das Micro e Macropropriedades no Desaguamento e Reúso dos LETAs

Marcelo Melo Barroso, Instituto Abraço e Universidade Federal de Rondonia, [marchbarroso@gmail.com](mailto:marchbarroso@gmail.com)  
Cali Laguna Achon, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), [caliachon@ufscar.br](mailto:caliachon@ufscar.br)  
João Sergio Cordeiro, UFSCar e Allevant Educação, [cordeiro.js@gmail.com](mailto:cordeiro.js@gmail.com)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Caracterização, Micropropriedades, Desaguamento, Reologia

### 1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305/2010), a Economia Circular, Agenda ESG (Governança Ambiental, Social e Corporativa) e o Novo Marco Legal do Saneamento, trazem importantes contribuições e ressaltam a necessária busca da ecoeficiência das ETAs, com foco na gestão do lodo. Não é tão novidade assim, em 2008, no texto síntese do Seminário Nacional sobre Tratamento, Disposição e Usos Benéficos de Lodos de ETAs já se afirmava “... o setor do saneamento precisa ter uma visão mais ampla do sistema de tratamento de água. Atualmente ela é horizontal (...); há tendência internacional em se reduzir a quantidade (lodo) produzida nas ETAs; o restante deve ser reciclado ou reusado e somente o que não puder ser aproveitado deve ser disposto” (IE-SP, 2008). Assim, a gestão adequada dos LETAs (lodos de ETAs), fundamentada no conhecimento de suas características e propriedades são essenciais e exercem papel preponderante para soluções em toda a cadeia da indústria da água. GERVASONI (2014) relata a necessidade de avaliar cada ETA separadamente devido à heterogeneidade dos resultados e através desta análise propor alternativas para o tratamento e disposição do lodo de ETA. O desafio está em definir parâmetros e propriedades que expressem uma uniformidade e padronização dos resultados, ensaios e técnicas e, ao mesmo tempo, considerem as especificidades de cada projeto, bem como, possuir simplicidade suficiente para serem replicados no cenário brasileiro. Para tanto, faz-se uso de conhecimentos típicos da área do saneamento ambiental, e tem se buscado ampliar a outras áreas do conhecimento, tais como Geologia, Mineração, Engenharia de Materiais, Química entre outras. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar o conhecimento das micro

e macropropriedades dos LETAs e potenciais usos na compreensão dos mecanismos de desaguamento.

### 2. Desenvolvimento

#### 2.1. Produção, caracterização e classificação de LETAs

Em geral, o volume de resíduos produzidos situa-se na faixa de 1% a 5% do volume de água tratada (SOUZA FILHO e DI BERNARDO, 1999). O volume de lodo gerado no decantador representa cerca de 0,25% a 0,6% do volume de água tratada, com teores de sólidos presentes na massa de lodo variando entre 0,1 a 2% de sólidos totais (ST). As parcelas de água presente nos LETAs podem ser divididas em quatro categorias, conforme Figura 1.

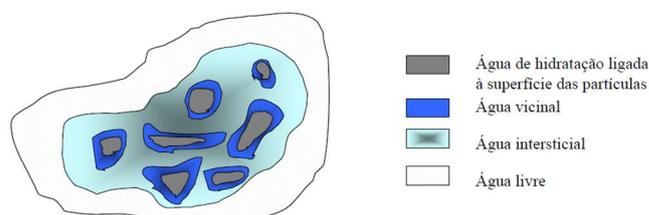


Figura 1 – Esquema ilustrativo das frações de água dos LETAs. Fonte: adaptado Smollen e Kafaar (1994).

Os demais constituintes dos LETAs geralmente são metais, sais diversos, plâncton e microrganismos, entre outras substâncias orgânicas e inorgânicas. As partículas presentes na água a ser tratada são basicamente colóides que conferem à mesma, cor e turbidez. A energia requerida para remoção de cada fração de água pode nos indicar os mecanismos mais eficientes ou os limites teóricos de cada processo e operação de desaguamento, conforme Figura 2. A caracterização usual dos LETAs considera sua importância às questões ambientais e geotécnicas, (CORDEIRO, 2001). As principais variáveis ambientais são pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade,

pesticidas e fertilizantes, e compostos orgânicos e voláteis. Em geral, a norma técnica NBR 10.004:2004, classifica os resíduos (LETAs), mas essa abordagem e classificação é incipiente.

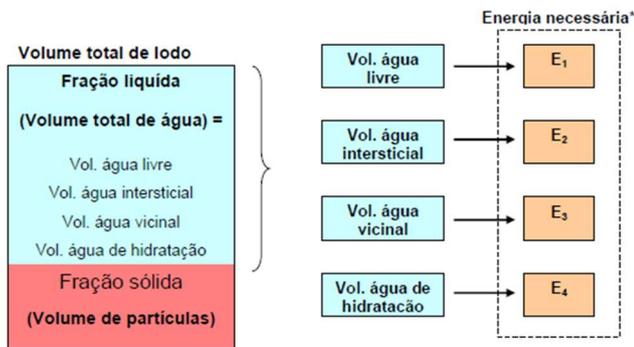


Figura 2 - Ilustração esquemática de energia requerida ( $E_i$ ) para remoção dos diferentes volumes de frações de água constituintes de LETAs. \* Vol. = volume; \*\*  $E_i$  = Energia requerida.

## 2.2. Micro e Macropropriedades de LETAs

DHARMAPPA et al (1997) propõe a sistematização das características não tradicionais e físico-químicas dos resíduos de ETAs em duas categorias: micropropriedades e macropropriedades. As *micropropriedades* definem as características intrínsecas do lodo, e podem ser tratadas como características de suspensão, enquanto, as *macropropriedades* descrevem as características relativas à tratabilidade dos resíduos e são dependentes das micropropriedades. Deve-se salientar que as propriedades importantes para estudos de remoção de água por sistemas naturais podem diferir, enormemente, daquelas usadas em estudos por sistemas mecânicos de remoção. Complementarmente tem se realizado estudos de reologia de LETAs e muitas vezes na literatura são reportados como Fluidos não-newtoniano. Da mesma forma, há estudos sobre a natureza tixotrópica da maioria dos lodos, ou seja, as características reológicas são variáveis com o tempo, devido à tendência floculante dessas suspensões. DENTEL (1997) e TSUGAWA et al (2019) citam o uso de viscosímetros rotacionais, como o mais apropriado para o estudo da reologia de lodos e reforçam que a caracterização reológica do lodo é uma ferramenta promissora para viabilizar sua reutilização. O “empacotamento de

partículas” é outra propriedade reológica importante. Aliado aos estudos reológicos tem-se também, especialmente para sistemas naturais com elementos filtrantes, como os geotexteis, a importância de outros parâmetros, tais como: permeabilidade, transmissividade, porosidade, porometria e abertura de filtração e por fim, mais destacadamente o processo de colmatção.

## 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho dividiu-se em duas etapas: i) Estudo de métodos e ensaios preliminares e ii) Ensaios de desaguamento de LETAs, com uso do recurso  $E_1$  (força da gravidade), aliado a disponibilidade do recurso de energia térmica para secagem, proveniente da energia solar por  $E_3$ , e parte  $E_4$ . Os ensaios foram realizados em dois protótipos com capacidade para 240 litros (Figura 3).

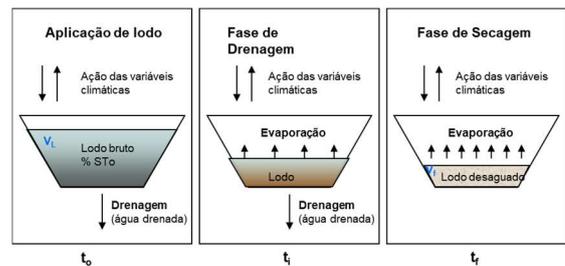


Figura 3 - Ilustração esquemática do ensaio de desaguamento por leito de drenagem em três fases.

A caracterização das micro e macropropriedades dos lodos de sulfato de alumínio e de PACI foi realizada, a partir do estudo e uso dos métodos analíticos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Micro e Macropropriedades e métodos usados na caracterização não tradicional de LETAs.

Propriedades	Método
Sedimentabilidade (lodo)	Coluna de sedimentação
Frações de água (estudo)	Congelamento e descongelamento de lodo
Distribuição de tamanho de partículas	SEDIGRAPH (esfera de diâmetro equivalente)
Estrutura cristalina	Difração de Raios X (CCDM/UFSCar)
Morfologia das partículas	MEV – microscopia eletrônica de varredura (CCDM/UFSCar)
Avaliação qualitativa da fração sólida	EDS – Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios-X (CCDM/UFSCar)
Carbono orgânico total (lodo)	Adaptação de Moraes <i>et al.</i> (2003)
Metais (Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn)	APHA/AWWA/WEF, 2005, EAA



As amostras de lodos foram coletadas de ETAs que usam sulfato de alumínio e Cloreto de Polialumínio (PACl). Após a realização dos ensaios foi confirmada a ocorrência de desaguamento em duas fases distintas: **a) Fase de drenagem**, com ocorrência de efetiva drenagem de água livre através da ação filtrante do geotêxtil e, concomitante secagem por evaporação. **b) Fase de secagem**, com ausência de drenagem de água livre, e ocorrência de secagem predominantemente por evaporação por ação e influência das variáveis climáticas.

#### 4. Resultados

O material dreno/filtrante usado no leito de drenagem constituído pelos geotêxteis promoveu a capacidade drenante da água livre das amostras de lodos e apresentou uma distribuição de tamanho de poros capaz de reter partículas floculentas ou sólidas. Dessa forma mostraram-se efetivos na remoção de sólidos, metais, turbidez e cor. Contudo, os resultados de variação de pH indicaram influência na capacidade drenante, possivelmente por interferir na colmatação por causas químicas. Na Fase de Drenagem, o valor de TAS (kg/m<sup>2</sup>) e/ou ST (%) mostrou-se determinante na definição da vazão de drenagem inicial de água livre. Esta observação assume importância no sentido de potencializar o uso de TAS como parâmetro de projeto. O estudo de determinação das frações de água no lodo não logrou êxito, contudo indicou a potencialidade do uso de energia térmica, na forma de congelamento e descongelamento. No estudo das micro e macropropriedades da massa de lodos, as análises realizadas por EDS indicaram aumento percentual de Al e diminuição de carbono nas amostras de lodo desaguado em comparação com lodo de PACl. Já em relação aos lodos de sulfato de alumínio essa tendência não foi verificada. Tais indicações foram confirmadas com a realização da análise de difração de raios X. O aumento percentual de argilominerais como a caulinita observado no lodo retido foi coerente com o aumento de finos observados na determinação de distribuição de tamanho de partículas. Os resultados dos

elementos químicos identificados nas partículas encontradas na amostra de geotêxtil usada nos ensaios de desaguamento, foram considerados majoritários (C, Al, Si, Fe) quando detectados nas cargas acima de 10%, minoritários (O, Ti) entre 1 e 10% e elementos traços (Mg, K, Ca) abaixo de 1%. As análises de MEV/EDS realizadas nas amostras de geotêxteis (usada e não usada) mostraram a retenção de partículas muito pequenas, bem menores que a abertura de filtração do geotêxtil usada nos LDs. A forma como ocorre a retenção dessas partículas pode ter relação com a combinação de mecanismos de retenção de partículas, por autofiltração e pela formação de uma rede de arcos e mecanismos de colmatação, por causa química e física.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contraditória complexidade de um processo natural, aparentemente simples, revelou-se no desenvolvimento desta pesquisa, com a dificuldade de agregar e estabelecer comunicação entre distintas áreas do conhecimento na direção de estudar as propriedades não tradicionais do lodo e na compreensão e sistematização dos fenômenos naturais envolvidos. Na Fase de Drenagem, independentemente do tipo e volume de lodo aplicado, a vazão de drenagem foi maior quanto menor o valor da TAS (kg/m<sup>2</sup>), reafirmando-se como sendo um importante parâmetro de projeto. Nos ensaios de desaguamento foram atingidos valores de teor de sólidos acima de 30% a partir do 7 dia de aplicação. O geotêxtil usado no LD promoveu a capacidade drenante da água livre das amostras de lodos e apresentou uma distribuição de tamanho de poros, capaz de reter partículas floculentas ou sólidas. Os avanços tecnológicos relativos a métodos de análises da matéria encontrados em outras áreas de conhecimento podem contribuir para que a área do saneamento evolua no desenvolvimento das operações e processos, na compreensão dos mecanismos envolvidos, e tornar mais efetivas pesquisas nessas áreas, e mais particularmente no estudo das técnicas de redução de volume, tratamento e reutilização de lodos de ETAs.



## REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, DF: Congresso Nacional, 2010.
- DHARMAPPA, H. B.; HASIA, A.; HAGARE, P. **Water treatment plant residuals management.** Water Science and Technology, vol 35 n. 8, pp 45–56, 1997.
- DENTEL, S.K. **Evaluation and role rheological in sludge management.** Water Science and Technology, v. 36, n. 11, p. 1-8, 1997.
- IE/SP – Instituto de Engenharia de São Paulo. **Relatório de Conclusões do Seminário Nacional sobre Tratamento, Disposição e Usos Benéficos de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** In: Seminário Nacional sobre Tratamento, Disposição e Usos Benéficos de Lodos de Estações de Tratamento de Água, São Paulo, IE, 11 p, 2008.
- GERVASONI, R. **Caracterização e Avaliação do Potencial de Destinação do Lodo de Estações de Tratamento de Água do Estado do Paraná.** 142p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- CORDEIRO, J. S. **Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs).** In.: ANDREOLI, C. V. et al. Coord. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB, 2001.
- SOUZA FILHO, A.G.; Di BERNARDO, L. **Caracterização e clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante primário.** (CD ROM) In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Anais. Rio de Janeiro, ABES. II-058, 1999.
- SMOLLEN, M.; KAFAAR, A. **Electroosmotically enhanced sludge dewatering: Pilot-Plant Study.** Water Science Technology. v. 30, n.8, pp. 159-168, 1994.
- TSUGAWA, J. K.; ROMANO, R. C. O.; PILEGGI, R. G.; BOSCOV, M. E. G. **Caracterização das propriedades mecânicas do lodo de estação de tratamento de água visando seu reuso em obras de engenharia: abordagens geotécnica e reológica integradas.** In: 30º ENCONTRO TÉCNICO AESABESP. Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. São Paulo, 2019

## INTERPRETAÇÃO DE UM ÍNDICE FÍSICO PARA CARACTERIZAÇÃO DE LODO GERADO EM ETA: TEOR DE UMIDADE

*Gustavo Oliveira Ferreira, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar),  
gustavo.oliveira@estudante.ufscar.br*

*Cali Laguna Achon, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), caliachon@ufscar.br*

*Marcelo de Castro Takeda, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), mctakeda@ufscar.br*

*Matheus Morais Minatel, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), matheusminatel@hotmail.com*

**Palavras-Chave:** Lodo, ETA, Saneamento, Geotecnia, Umidade, Sólidos Totais.

### 1. INTRODUÇÃO

A interdisciplinaridade na abordagem de temas ambientais é fundamental para análise de resultados que necessitam de diferentes profissionais e áreas de atuação, que ultrapassam a barreira dos saberes, requerendo uma discussão mais qualificada e aprofundada. A gestão e tecnologia aplicado aos resíduos sólidos, particularmente, aos gerados em estações de Tratamento de Água (ETA), denominado lodo de ETA ou LETA, requer conhecimento e abordagem interdisciplinar, principalmente no que se refere a destinação ambientalmente adequada, prevista na Lei 12.305/2010. Alguns ensaios de caracterização do LETA, relacionados aos parâmetros ou índices físicos, como sólidos totais e umidade, apesar de igualmente denominados e até possuírem a mesma unidade, apresentam valores em escalas distintas quando comparados os resultados de pesquisas correlatas, surgindo a hipótese de uma possível divergência entre os conceitos de determinação desta propriedade e o que realmente significariam esses dados para as diferentes áreas, principalmente a interface entre geotecnia e saneamento.

### 2. METODOLOGIA

Para auxiliar a análise do presente estudo, sintetizaram-se pesquisas científicas por meio de uma lista de parâmetros iniciais, filtrando os ensaios realizados nos diferentes estudos com aplicação de LETA em pavimentação, dentre o índice físico proposto, teor de umidade. Este índice físico possui duas abordagens ou

métodos de determinação, principalmente quando se consideram duas grandes áreas que pesquisam o LETA em pavimentação: saneamento e geotecnia. Sendo assim, os métodos diferentes de determinação levam à hipótese de apresentarem resultados distintos. Na Tabela 1 apresentam-se os métodos utilizados para determinação do teor de umidade por duas áreas de estudo correlatas, encontrados em pesquisas visando o uso do LETA em pavimentação.

Tabela 1. Métodos empregados para determinação e umidade nas pesquisas com uso do LETA em pavimentação (2014 a 2020). Fonte. Autores (2021).

Propriedades	Método			
	Saneamento	Un.	Geotecnia	Un.
a) Umidade	S.1) Métodos padrão para o exame de água e águas residuais APHA/AWWA/WEF, 2005 e ABNT NBR 10664/1989	%	G.1) Solo - Determinação do teor de umidade - Métodos expeditos de ensaio - ABNT NBR 16097/2012	%

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Montalvan (2016), uma das dificuldades em se aplicar o LETA na mistura com o solo em obras geotécnicas é determinar o teor de umidade do lodo para que seja aplicada de forma tecnicamente adequada. Além disto, a segurança ambiental deve ser analisada de maneira que o uso deste resíduo sólido, como material na construção civil, seja aceito pelos órgãos de controle ambiental. Nos estudos levantados, Lucena et al., (2014); Lucena et al., (2016) e Martínez et al., (2020) empregaram o método APHA (1998) e

obtiveram uma umidade de 53%. Coelho et al., (2015) utilizou um LETA em umidade ambiente, sem dado quantitativo ou método de aferição informado. Delgado (2016), obteve a umidade por meio do método de análise de solo da Embrapa (1997), com um LETA seco a 40°C e umidade na ordem de 94%. Ali Dawood *et al.* (2019), não informou a umidade em que o LETA foi empregado na pavimentação. Liu *et al.* (2020) obteve uma umidade de 25%, porém, em seu trabalho não se especificou qual a abordagem utilizada para se alcançar tal valor. Nos estudos de aplicação de LETA em pavimentação levantados, os autores indicaram o uso de umidades de aplicação na mistura variando entre 0 e 100%, porém é comum encontrar estudos visando a aplicação em outras formas de obras geotécnicas, como o caso de Montalvan (2016), onde encontram-se valores de teor de umidade do LETA de 300%. Isso deve-se ao fato de que, no saneamento, calcula-se a umidade com o denominador em relação a massa total da amostra, enquanto na geotecnia seu denominador é a massa seca da amostra, ocorrendo assim uma distorção na escala dos resultados entre essas duas áreas correlatas, conforme apresentado na Equação 1 e Equação 2 para o método utilizado pelo saneamento e na Equação 3 segundo o método utilizado pela geotecnia.

$$ST = \frac{\text{mas do resíduo} \times 1000}{\text{volume do resíduo}} \quad (1)$$

Onde: ST = Teor de sólidos na base úmida, ou seja, sólidos totais (%)

Vale ressaltar que a Equação 1, é um procedimento usual realizado em laboratórios de saneamento, sendo uma prática comum obter o valor de sólidos totais de uma amostra por meio deste conceito.

$$\text{Teor de umidade (\%)} = 1 - ST \quad (2)$$

$$h(\%) = \frac{\text{massa de água na amostra}}{\text{massa da amostra seca em estuf}} \quad (3)$$

Onde: h = Teor de umidade (%)

Na Figura 1 tem-se um gráfico comparativo entre os resultados de teor de umidade determinado pelo procedimento do saneamento e da geotecnia, mostrando a distinção entre os resultados e

amplitude de escala. Para a elaboração da Figura 1, adotou-se como procedimento fixar um valor de massa de sólidos em uma amostra genérica e variar a massa de água. Dessa forma foi possível determinar a massa total e calcular os teores de umidade a partir dos procedimentos apresentados na Tabela 1 equações 1, 2 e 3.

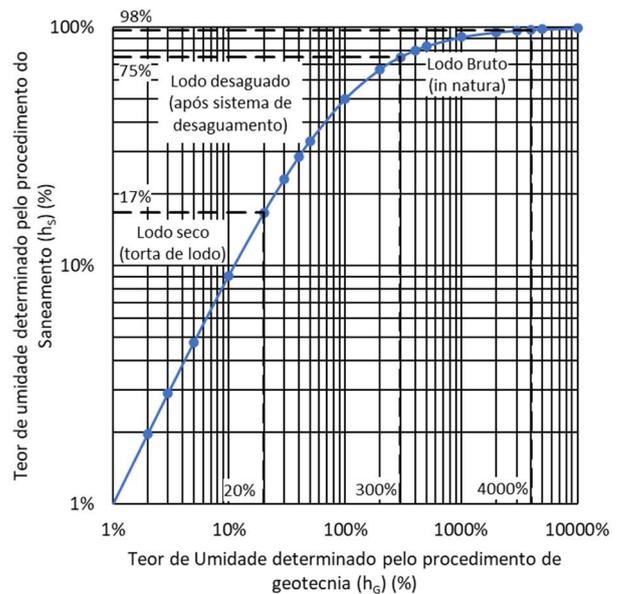


Figura 1. Gráfico comparativo entre os resultados de teor de umidade determinado pelo procedimento do saneamento (hs) e de geotecnia (hg). Fonte. Autores (2021).

A Equação 4 expressa a relação entre os dois teores de umidade determinados.

$$h_{\text{saneamento}} = \frac{h_{\text{Geotecnia}}}{(1+h_{\text{Geotecnia}})} \quad (4)$$

Como pode-se observar pela Equação 4, este modelo expressa a umidade do saneamento em relação ao teor de umidade da geotecnia, ao atribuir valores conforme a Figura 1. Segundo a área de saneamento, o teor de sólidos totais (ST) do lodo bruto varia entre 1 e 5%, ou seja, 99 a 95% de umidade. Se considerarmos um valor médio de 2% de ST, que representa 98% de teor de umidade, para o método de determinação da geotecnia este valor de umidade seria 4000%, conforme Figura 1. Analogamente, o LETA após passar por um sistema de desaguamento (lodo desaguado) pode apresentar 25% de ST ou 75% de umidade para o saneamento, enquanto para geotecnia este valor de umidade seria 300%. Outros exemplos que podem ser observados na Figura 1, um lodo com

umidade na faixa de 50% para o saneamento, corresponde a 100% de umidade para geotecnia; um lodo com 33,3% segundo o saneamento, para a geotecnia este mesmo lodo de ETA possuiria 50% de umidade. Considerando o lodo que passa por um sistema de secagem (lodo seco ou “torta” de lodo) as diferenças começam a não ser tão significativas em termos de determinação de umidade, ou seja, para o saneamento um lodo seco que teria, por exemplo, 17% de umidade (ou 93% de ST), para o método de determinação da geotecnia este mesmo lodo teria 20% de umidade. Sendo assim, escalas distintas que, de certa forma, dependem do método escolhido para determinação do teor de umidade do lodo, devem ser interpretadas considerando o contexto e método empregado, principalmente em pesquisas com intuito de aplicação deste resíduo sólido em pavimentação, que por ser interdisciplinar, requer atenção ao significado dos valores que cada área apresenta para o LETA, sendo fundamental para a assertividade na análise dos resultados. O teor de umidade (ou sólidos totais) do LETA é um parâmetro muito utilizado como indicador de eficiência e nível de tratamento do lodo, que consiste basicamente na redução de volume ou remoção de água (redução do teor de umidade). As etapas de tratamento do LETA podem ser divididas em três principais: adensamento, desaguamento e secagem. Na Figura 2, tem-se a variação da massa de LETA em função do teor de umidade e teor de sólidos totais, considerando o método de determinação realizado pelo saneamento. Esta analogia como indicador geral de redução de volume e massa de lodo, para posterior destinação (uso benéfico) ou disposição final foi baseada no gráfico apresentado por SANEPAR (1999), que destaca também, na área de saneamento, as três etapas de tratamento (remoção de água) do LETA. Considerando a Figura 2, com uma pequena redução no teor de umidade de 98% (lodo bruto) para 90% (lodo adensado), pode-se atingir uma redução de 50% em termos de massa total (ou volume) de LETA. Com a adoção de um sistema de desaguamento, o lodo pode atingir 75% de umidade (lodo desaguado), representando redução mássica da ordem de 80% em relação ao

lodo bruto. Já com a secagem do lodo, pode-se ter um resíduo com cerca de 10 % de umidade, reduzindo ainda mais a massa, porém, após o desaguamento, a redução não é tão significativa.

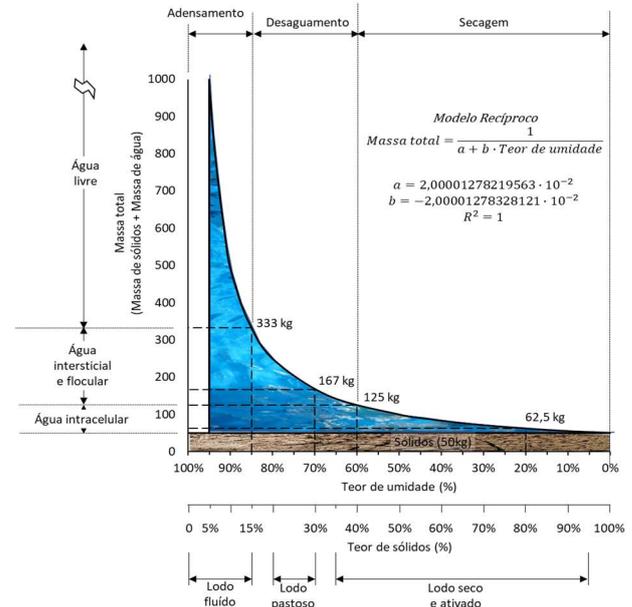


Figura 2. Variação da massa total de LETA em função do teor de umidade ou sólidos totais (ST). Fonte: adaptado de SANEPAR (1999).

#### 4. CONCLUSÕES

A umidade é um índice físico avaliado constantemente pelos estudos de uso do LETA em pavimentação e possui uma relação com o desempenho da mistura, pois a umidade impacta diretamente no comportamento do material e consequentemente, na qualidade dessa mistura aplicada ao pavimento, seja no revestimento, nas suas bases de suporte ou em blocos de concreto para pavimentação. Sendo assim, a escolha por um método de determinação desse parâmetro de caracterização física do LETA (umidade), pela abordagem do saneamento ou da geotecnia, é fundamental um entendimento prévio de qual será a proposta vigente do estudo a ser aplicado para este resíduo sólido. Dessa forma, entender os conceitos por detrás dos resultados obtidos e transmiti-los de forma clara para comunidade científica, nesta interface entre as áreas de saneamento e geotecnia, é importante para comparações e qualidade na análise dos resultados e possivelmente, exposição de novas lacunas a serem exploradas em estudos futuros.



## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16097: Solo - Determinação do teor de umidade - Métodos expeditos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 10644. Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método Gravimétrico** Rio de Janeiro, 1989. 7 p.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Washington, 2005
- Barroso, Marcelo Melo. **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 (USP), 2007. São Carlos – SP. 249p.
- Coelho, R.V., Tahira, F.S., Fernandes, F., Fontenele, H.B., Teixeira, R.S. **Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária**. Goiânia: Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.10, n.2, p.11-22, 2015. Acesso em 28 de março de 2021, disponível em: <https://revistas.ufg.br/index.php/reec/index>
- SANEPAR. PRSOSAB **Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos**. 1999. 273 p.
- Dawood, Sahar A. Ali; Obaid, Hayder Abbas; Hashim, Tameem Mohammed; Jasim, Hadeel Kareem. **Influence Of Using Alum Sludge As An Aggregate On Hot Mix Asphalt**. In: International Conference On Civil And Environmental Engineering Technologies, n. 584., 2019, Najaf - Iraque. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 584. Najaf - Iraque: Iop Science, 2019. v. 584, p. 1-10. Acesso em 28 de março de 2021. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/584/1/012032>
- Delgado, J. **Avaliação da aplicação do lodo da ETA Guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2016. Rio de Janeiro – RJ. 150p.
- EMBRAPA, **Manual de Métodos de Análise de Solos, 2ª edição**, CNPS-Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena, José Fernando Thomé Juca, Jorge Barbosa Soares, Paulo Germano Tavares Marinho Filho, **Use of wastewater sludge for base and subbase of road pavements**. In Transportation Research Part D: Transport and Environment, V. 33, 2014, p. 210-219. Acesso em 28 de março de 2021, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920914000728?via%3Dihub>
- Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena, J. Thome Juca, J. Soares And M. Portela. **Characterization And Evaluation Of The Potential Use Of Sludge From Stp And Wtp In Paving**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 166-178. Feb 2016. Acesso em 28 de março de 2021, disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S010069162016000100166&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S010069162016000100166&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)
- Liu, Yue; Zhuge, Yan; Chow, Christopher W.K.; Keegan, Alexandra; Li, Danda; Pham, Phuong Ngoc; Huang, Jianyin; Siddique, Rafat. **Utilization of drinking water treatment sludge in concrete paving blocks: microstructural analysis, durability and leaching properties**. Journal Of Environmental Management, [S.L.], v. 262, p. 110352, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110352>. Acesso em 28 de Março de 2021, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720302875?via%3Dihub>
- Martínez, Juan Bastidas; Carvalho, J. Camapum De; Lucena, Lêda Christiane De Figueirêdo Lopes; Farias, M.M.; Rondón-Quintana, H. A.. **Preliminary Study Of Hot Mix Asphalt Containing Water Treatment And Sewage Sludge**. Archives Of Civil Engineering, Warsaw, Poland, V. 66, N. 1, P. 226-240, 04 Fev. 2020. Acesso em 28 de março de 2021, disponível em: [https://Ace.II.Pw.Edu.Pl/Wp-Content/Uploads/2020/04/Paper\\_736\\_Do-Druku\\_B5\\_Met.Pdf](https://Ace.II.Pw.Edu.Pl/Wp-Content/Uploads/2020/04/Paper_736_Do-Druku_B5_Met.Pdf)
- Montalvan, Edy Lenin Tejada. **Investigação do comportamento geotécnico de misturas de solo arenoso com lodo de estação de tratamento de água do município de Cubatão, SP**. 2016. 134 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo -SP, 2016.

## PARÂMETROS DE INTERFERÊNCIA NA TRATABILIDADE DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA.

*Silvia Fernanda Paffrath, Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGHERA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), silviafp@sanepar.com.br*

*Ramiro Gonçalves Etchepare, Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), ramiro.etchepare@ufpr.br*

**Palavras Chave:** Concentração de Sólidos, Resistência Específica à Filtração, Tempo de Sucção Capilar, Turbidez da Água Bruta.

### 1. INTRODUÇÃO

Diferentes técnicas de tratamento são utilizadas para adequar as características das águas brutas de cursos d'água superficiais aos padrões de potabilidade vigentes. Na estação de tratamento de água (ETA) convencional de ciclo completo, tipo mais comum de tratamento de água superficial no Brasil (ACHON *et al.*, 2013), é comum a utilização de produtos químicos, que, conjuntamente com partículas da própria água bruta, compõem os resíduos (ou lodo) deste processo.

O tipo de separação sólido-líquido empregado na ETA pode interferir na característica desse lodo, no que diz respeito a sua concentração de sólidos, sendo esse o parâmetro mais comumente analisado nesse tipo de resíduo. Se a clarificação for feita por flotação, por exemplo, o lodo retirado da unidade pode ser mais concentrado quando comparado ao lodo de decantadores (DI BERNARDO *et al.*, 2012), sendo mais fácil sua remoção de água.

Por ser considerado um resíduo sólido, sendo proibido seu lançamento direto no corpo hídrico em diversos países (PIEPER, 2008), é indispensável o gerenciamento adequado dos lodos de ETA, incluindo a destinação final. Para alguns dos destinos comuns utilizados, o custo de transporte e disposição final pode ser bastante elevado, por isso a redução de volume do lodo torna-se uma alternativa atrativa economicamente (SILVA JUNIOR, 2003). Para isso, são utilizadas técnicas diversas que são aplicadas em etapas de condicionamento químico, adensamento e deságue (MARASCHIN *et al.*, 2020), sendo a

primeira caracterizada pelo preparo do lodo para as etapas seguintes, de efetiva remoção da água.

Para se obter maiores eficiências em cada etapa de tratamento, devem ser conhecidos os fatores que influenciam nessa remoção de água do lodo. Pela escassez de pesquisas nesta área do conhecimento, a reunião do estado da arte em um único documento sobre parâmetros de influência no tratamento do lodo de ETA, além de contribuir como referência para concepção de estações de tratamento de lodos, contribuirá para fomentar a discussão desse tema.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é apresentar os principais fatores que podem interferir na remoção de água do lodo gerado em ETA. Os objetivos específicos são os seguintes: avaliar diferenças nas concentrações totais de sólidos em lodo de ETAs com diferentes etapas de separação sólido-líquido; apresentar outras características de lodos de ETAs que interferem na remoção de água de lodos; discutir sobre outros fatores que podem interferir na tratabilidade do lodo.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Concentração de sólidos em ETAs

Foram selecionadas ETAs operadas por empresa de saneamento do Paraná, com diferentes unidades de clarificação (separação sólido-líquido): decantador convencional com raspador de fundo, decantador alta taxa, flotador e clarificador em manto de lodos. Optou-se por ETAs localizadas numa mesma bacia hidrográfica, para que tivessem características de água bruta similares.



Em cada ETA foram feitas coletas de lodo de forma a representar o volume de descarga dos clarificadores na estação. O material coletado foi homogeneizado e submetido à análise de sólidos totais, através de balança analisadora de umidade.

## 2.2. Características dos lodos

Além da concentração do lodo, foi feito um levantamento de estudos sobre outros parâmetros que são analisados para avaliar a facilidade de remoção de água do lodo.

## 2.3. Fatores de interferência na tratabilidade do lodo

A partir das pesquisas consultadas para cumprir os objetivos específicos anteriores, foram avaliados outros possíveis fatores que possam ter influência na tratabilidade dos lodos testados.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Concentração de sólidos em ETAs

Os resultados obtidos nas análises de lodos das ETAs encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. ST em lodos de diferentes ETAs da Sanepar.

Tipo de separação sólido-líquido	T (NTU)	
	água bruta	ST (mg/L) lodo
Clarificador em manto de lodos (ETA 1)	18,5	768
Clarificador em manto de lodos (ETA 2)	17	828
Decantador alta taxa (ETA 3)	8,8	778,9
Decantador convencional (ETA 3)	8,8	18.700
Flotador (ETA 4)	10	11.150

Observa-se que as diferenças nas concentrações de sólidos no lodo são função do tipo de separação sólido-líquido empregado, já que para uma baixa variabilidade de turbidez (coeficiente de variação de 32%), a concentração de sólidos totais teve diferenças significativas (coeficiente de variação de 208%). Na mesma estação, por exemplo, o lodo do decantador de alta taxa teve concentração significativamente inferior ao lodo de um decantador convencional, com raspador de fundo, conforme valores da ETA 3. Com relação aos

demais tratamentos, verificou-se uma menor concentração de sólidos nos clarificadores com manto de lodos, que pode ser explicada pela necessidade desse manto no interior da unidade para tratar a água. A concentração de sólidos no flotador, embora alta, foi menor que aquela obtida no lodo do decantador convencional, pois especificamente na ETA 4 é utilizada água para auxiliar na remoção do lodo da unidade, reduzindo a concentração do lodo.

## 3.2. Características dos lodos

Outras características dos lodos citadas em pesquisas que avaliaram sua caracterização ou tratamento, como aquelas da Tabela 2, foram a resistência específica à filtração (*specific resistance to filtration* – SRF) e o tempo de sucção capilar (*capillary suction time* – CST).

A SRF avalia a maior ou menor facilidade de remover a água do lodo, tendo-se um valor menor quando a água é extraída com maior facilidade. E o CST está relacionado com a consistência e filtrabilidade do lodo. Resultados de pesquisas mostram que o condicionamento químico do lodo pode auxiliar na redução da SRF e de CST, tornando mais fácil a remoção de água (HOU & LI, 2003).

Na Tabela 2 constam valores de CST e SRF, além das concentrações de lodos em algumas pesquisas, em ETAs que utilizam PAC como coagulante.

Tabela 2. SRF e CST de lodos de ETAs

Pesquisa	Parâmetros lodo		
	SRF ( $10^{12}$ m.Kg <sup>-1</sup> )	CST (s)	CS <sup>1</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )
HUANG et al., 2018	5,89	-	37.900
HUANG et al., 2008	1	28	-
HOU & LI, 2003	2,11	55,7	30.000
MARASCHIN et al., 2020	55	-	5.000
BINGTAO et al., 2014	19,2	930	10.000

<sup>1</sup> CS = Concentração de Sólidos

Dos valores da tabela é verificada uma possível relação entre a concentração de sólidos no lodo e sua SRF, já que essa foi maior no lodo com menor teor de sólidos.

Com relação às pesquisas de HUANG *et al.* (2018) e HOU & LI (2003), embora o valor da SRF na

segunda pesquisa tenha sido menor, mesmo com a menor concentração de sólidos, ressalta-se que a turbidez da água bruta da ETA que originou o lodo era de 1.300 NTU, valor significativamente alto, sugerindo uma relação entre essa resistência e a concentração de sólidos também da água bruta.

### 3.3. Fatores de interferência na tratabilidade do lodo

Além dos parâmetros verificados em pesquisas, como concentração de sólidos no lodo (que pode ser função do tipo de clarificação feito na ETA), o CST e a SRF, verificou-se que a qualidade da água bruta também pode interferir na tratabilidade do lodo, por ter influência principalmente em sua concentração de sólidos.

Em Silva Junior (2003), por exemplo, a demanda por polímero utilizado no condicionamento do lodo foi menor na época chuvosa (maior turbidez da água bruta), pela maior concentração do lodo nessa época. Assim, verifica-se a relação de parâmetros de tratabilidade do lodo com a turbidez da água bruta, já que o polímero auxilia na redução da SRF, tornando mais fácil a remoção de água do lodo.

Essa relação da tratabilidade do lodo com a turbidez da água bruta também foi observada em outras pesquisas, como em Gmurkoska (2019), já que o CST está ligado à consistência do lodo; e em Camargo *et al.* (2014), já que maiores concentrações de sólidos na água de lavagem de filtros facilitaram seu deságue.

## 4. CONCLUSÕES

A partir das análises feitas em lodos de ETAs da Sanepar, concluiu-se que há diferenças na concentração de sólidos no lodo em função do tipo de clarificação utilizado na ETA. No entanto, essa concentração não é atribuída somente ao tratamento da água. Avaliando outras pesquisas que analisaram esse parâmetro em diferentes estações do ano, verificou-se que algumas características da água bruta, como a turbidez, também podem interferir nesse parâmetro e serem considerados então como interferentes na desidratação dos lodos de ETAs. Na época chuvosa, com maior turbidez da água bruta,

houve uma tendência a ter maior concentração de sólidos no lodo.

Sendo a concentração de sólidos no lodo um dos principais parâmetros analisados, interferindo no condicionamento do lodo, na velocidade de sedimentação e na SRF, poder estabelecer uma relação entre esse parâmetro e a turbidez da água bruta, parâmetro comum de análise da água, poderá auxiliar em concepções de estações de tratamento de lodo para novos mananciais e ETAs.

## REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L. et al. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISSO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 18, 2013.
- BINGTAO, L. et al. Study on fly ash for conditioning of specific resistance of sludge water. **Advanced Materials Research**, v. 955-959, 2014.
- CAMARGO, R. P. L. et al. A. Caracterização físico-química e bacteriológica dos resíduos de ETA: a importância do seu estudo. **Eclética Química**, 2014.
- DI BERNARDO, L. et al. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2012.
- HOU, C.; LI, K. Assessment of sludge dewaterability using rheological properties. **Journal of the Chinese Institute of Engineers**, v. 26, 2003.
- HUANG, S. et al. Comprehensive insights into the inorganic coagulants on sludge dewatering: comparing aluminum and iron salts. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, 2018.
- HUANG, C. et al. Effect of Al (III) speciation on coagulation of highly turbid water. **Chemosphere**, v. 72, 2008.
- GMURKOSKA, R. Characteristics of water sludge from Cracow Water Treatment Plants – case study. **E3S Web of Conferences** 100, 2019.
- MARASCHIN, M. et al. Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: New action mechanisms. **Sep. Purif. Technol.** v. 252, 2020.
- PIEPER, K. M. C. **Avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRGS, Porto Alegre, 2008.
- SILVA JUNIOR, A. **Tratabilidade do lodo de decantadores convencional e de alta taxa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNICAMP, Campinas, 2003.



## TEOR DE SÓLIDOS E MANEJO DE LETA DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

*Antônio Carlos de Oliveira Martins Júnior, Mestrando do Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS, [antonioomjr@gmail.com](mailto:antonioomjr@gmail.com)*

*Viviana Parada Reina, Mestranda do Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS, [vivi.par@hotmail.com](mailto:vivi.par@hotmail.com)*

*Fabiane Bernardi de Souza, Mestranda do Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS, [fbernardi28@gmail.com](mailto:fbernardi28@gmail.com)*

*Maria Cristina de Almeida Silva, Professora do Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS, [maria.almeida@ufrgs.br](mailto:maria.almeida@ufrgs.br)*

*Antônio Domingues Benetti, Professor do Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS, [benetti@iph.ufrgs.br](mailto:benetti@iph.ufrgs.br)*

**Palavras Chave:** Resíduo do saneamento, Decantador convencional, Flocu-decantador.

### 1. INTRODUÇÃO

A maior parte do volume de água tratada no Brasil (76%) vem de Estações de Tratamento de Água (ETA) de ciclo completo (coagulação, floculação, decantação, filtração, fluoração e desinfecção) (IBGE, 2017). Os decantadores dessa tecnologia de tratamento produzem elevada quantidade de lodo, o chamado Lodo de ETA (LETA), cujo volume diário médio gerado pode ser de 0,6% da produção da planta de tratamento (USEPA, 2002).

Tratar e dispor de forma adequada esse lodo constituem grandes desafios para companhias de saneamento. Conseqüentemente, a maior parte dos 1.825 municípios brasileiros que geram LETA destina esse resíduo para os rios (56%) (IBGE, 2017). Isso provoca sérios problemas, como aumento da turbidez, matéria orgânica e metais pesados que degradam a qualidade água, além de impactos negativos na saúde pública de populações que se abastecem desses recursos hídricos (SOARES; ACHON; MEGDA, 2004). Uma menor parte do LETA acaba no aterro sanitário (23%) e pequenas parcelas são dispostas em estações de tratamento de esgoto (5%) ou são reaproveitadas na agricultura (2%) e na construção civil (0,5%) (IBGE, 2017).

A composição do LETA é inerente ao seu tratamento, podendo determinar qual a melhor alternativa de destinação ambientalmente adequada. O teor de sólidos do LETA é um importante fator para o manejo do resíduo e

pode variar em função do tipo de unidade de decantação onde o lodo é gerado (GUIMARÃES, 2007).

Este estudo comparou o teor de sólidos de amostras de LETA de diferentes decantadores, convencional e flocu-decantador. Depois, foram traçados comentários sobre a relação do teor de sólidos do LETA com aspectos de tratamento, destinação, reaproveitamento, normatização e legislação deste resíduo.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Amostras de LETA

Foram coletadas duas amostras de lodo em ETAs de Porto Alegre, RS, conforme NBR 9898 (ABNT, 1987). A primeira é de lodo gerado em decantador convencional, coletada em dezembro de 2019 na ETA Moinhos de Vento, durante a lavagem manual do decantador. Esta amostra é composta por LETA formado no fundo do decantador.

A segunda é de lodo produzido em um flocu-decantador (*superpulsator*), coletada em março de 2020 na ETA São João, durante a descarga de lodo concentrado na unidade. No *superpulsator*, uma manta de lodo suspensa retém as partículas em suspensão na água bruta, e mediante variações de pressão o lodo de excesso é eliminado do sistema (SUEZ WATER TECHNOLOGIES & SOLUTIONS, 2020).



## 2.2. Determinação do teor de sólidos

No Laboratório de Saneamento do IPH/UFRGS foi determinado o teor de sólidos (%) das amostras, pelo método 2540G (APHA, 1989). Esta análise foi feita para as amostras de lodo em dois estados: bruto (como coletado nas ETAs) e adensado. O adensamento foi realizado por gravidade com cone Imhoff durante uma hora e por 24 horas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Teor de sólidos do LETA

Existe grande diferença no teor de sólidos entre as amostras de LETA gerados em flocu-decantador e decantador convencional (Figura 1).

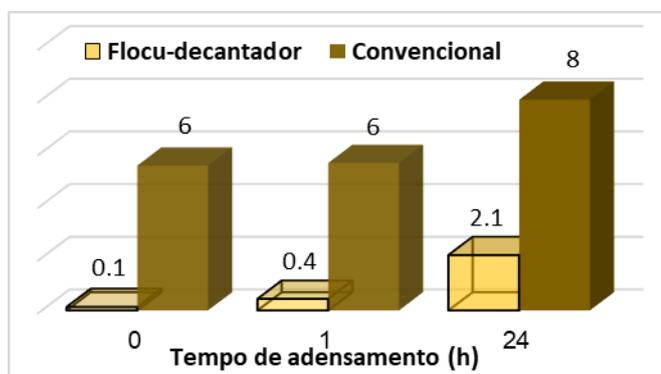


Figura 1. Teor de sólidos (%) em diferentes períodos de adensamento de amostras de LETA provenientes de flocu-decantador e decantador convencional.

Independentemente do tempo de adensamento, as amostras de LETA do decantador convencional avaliadas sempre apresentaram maior teor de sólidos. Inclusive, os valores destas amostras de LETA (6-8%) não superam 10%, valor comum para LETA do mesmo tipo de decantador (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

Com base na variação do tempo de adensamento (uma hora e 24 horas - Figura 1), os resultados indicaram que mesmo após um dia de adensamento a diferença entre o teor de sólidos do LETA do flocu-decantador e do LETA do decantador convencional permaneceu elevada. Contudo, essa diferença foi menor comparada com a do tempo de uma hora de adensamento, cujos resultados foram semelhantes aos das amostras sem adensamento. Inobstante, um dia de adensamento resultou em aumento considerável dos sólidos nos dois tipos de LETA.

A diferença no teor de sólidos entre as amostras também é evidente pela distinta separação água-sólidos na amostra do flocu-decantador (Figura 2a), sendo a mesma separação imperceptível na amostra do decantador convencional (Figura 2b).

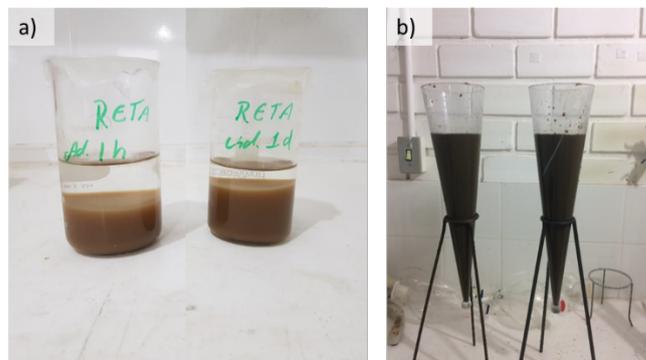


Figura 2. Adensamento de amostras de LETA do (a) flocu-decantador e do (b) decantador convencional.

Além da tecnologia de tratamento da água, fatores como a qualidade da água bruta, tipo e dosagem de produtos químicos e o método de limpeza dos decantadores podem interferir na quantidade e qualidade do LETA (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

Embora a ETA São João apresente o dobro de vazão de tratamento em relação à ETA Moinhos de Vento, a captação de água bruta ocorre no mesmo local e o produto químico também é o mesmo para as duas estações, o PAC. Logo, os métodos de operação e limpeza das unidades de decantação podem ter influenciado o teor de sólidos dos LETAs. Enquanto no flocu-decantador a retirada de LETA é constante e automatizada, a limpeza do decantador convencional é realizada manualmente a cada três meses (DMAE, 2021).

### 3.2. Tratamento do LETA

O tratamento de LETA envolve diversas etapas, como regularização de vazão, adensamento, desaguamento, secagem e incineração. No adensamento, que pode ser por gravidade, flotação ou mecânico, a clarificação do lodo visa o alcance de uma determinada concentração de sólidos (<8%). No desaguamento o objetivo é aumentar o teor de sólidos para até 35% (RUSSELL ET AL., 1996). Logo, o teor de sólidos do LETA vai condicionar o seu tratamento. Altos teores podem exigir maior espaço e uso de polímeros para facilitar a saída de água durante o



adensamento. Porém, dependendo das características de sedimentabilidade do LETA, o maior teor de sólidos pode aumentar a velocidade de sedimentação, facilitando o desaguamento (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

### 3.3. Destinação do LETA

Uma das destinações ambientalmente adequadas geralmente adotada para o LETA consiste nos aterros sanitários (IBGE, 2017). Para este fim, o resíduo deve ser submetido a um rigoroso processo de desaguamento, que é influenciado pelo teor de sólidos e outras características do LETA, como sua alta plasticidade, baixa resistência ao cisalhamento, baixa permeabilidade à água e extrema compressibilidade e tixotropia (URBAN; ISAAC; MORITA, 2019).

Outro fator remete ao transporte, que dependendo da quantidade de sólidos existente no LETA, como o alto teor da amostra de decantador convencional avaliada, pode ser bastante oneroso (NAIR; AHAMMED, 2015). Além disso, alternativas de transporte por meio de dutos serão mais viáveis quando há menor perda de carga (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012), sendo, portanto, uma boa opção para LETA proveniente de um flocu-decantador.

### 3.4. Reaproveitamento do LETA

As alternativas de reaproveitamento do LETA podem ser implementadas dependendo das propriedades e porcentagem de incorporação do resíduo (TSUTUYA; HIRATA, 2001).

A aplicação do LETA no solo ajuda a recuperar áreas degradadas, sendo uma alternativa viável se não houver alta concentração de alumínio ou reações negativas no solo receptor (TSUTIYA; HIRATA, 2001; REALI, 1999). Além disso, o LETA incorporado em porcentagens adequadas na argamassa, cerâmica e concreto, pode ser aproveitado pela indústria da construção (ANDREOLI, 2001).

Outra alternativa consiste no uso do LETA para remoção de fósforo de esgoto sanitário, em que o teor de sólidos pode afetar a eficiência de remoção (NAIR; AHAMMED, 2015). A recuperação

como coagulante também é uma opção, sendo uma das alternativas mais utilizadas no reaproveitamento do LETA, pois possibilita a redução de metais pesados e do volume de lodo a ser descartado, diminuindo custos e permitindo a reciclagem dos produtos químicos aplicados no tratamento de água (ANDRADE, 2005; TSUTIYA; HIRATA, 2001; ANDREOLI, 2001).

### 3.5. Normatização e legislação aplicáveis ao LETA

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica o LETA como resíduo sólido. Esta classificação pode ser equivocada, uma vez que o lodo adensado e lodo desaguado podem apresentar diferentes teores de sólidos (RUSSELL ET AL., 1996). Não obstante, os resultados do presente estudo (Figuras 1 e 2) ainda indicam que diferentes tecnologias de decantação existentes em ETAs podem gerar lodos com diferentes teores de sólidos. Portanto, a classificação do LETA em função de sua concentração de sólidos pode ser mais oportuna (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

Como resíduo sólido a disposição do LETA deve atender à Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e como líquido à Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Seja como resíduo sólido ou líquido, o LETA não pode ser lançado ou disposto de forma indevida, pelo contrário, deve-se optar por uma alternativa ambientalmente adequada (BRASIL, 1998).

## 4. CONCLUSÕES

Decantadores convencionais geram LETA com teor de sólidos consideravelmente superior ao LETA produzido em flocu-decantadores. O teor de sólidos dos dois tipos de LETA, no entanto, aumenta quando os lodos são submetidos ao adensamento por gravidade durante 24 horas.

Os métodos de operação e limpeza das unidades de decantação podem ter influenciado o teor de sólidos do LETA, uma vez que ambas as ETAs consideradas utilizam o mesmo produto químico e o mesmo local para captação de água bruta.

## AGRADECIMENTOS

DMAE-POA. CAPES. CNPq.



## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de afluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ANDRADE, Paulo Soares. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústria de cerâmica vermelha**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- ANDREOLI, Cleverson Vitorio. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.
- APHA – American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. Baltimore, Port City Press, 1989.
- BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13**. Brasília, Presidência da República - Casa Civil, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- \_\_\_\_\_. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998: Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. Brasília, Presidência da República - Casa Civil, 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- \_\_\_\_\_. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília, Presidência da República - Casa Civil, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe Editora, 1ª ed., 2012.
- DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre. **Informações – Água**. Prefeitura de Porto Alegre. 2021. Disponível em: <<http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/default.php>>. Acesso em 26 mai.2021.
- GUIMARÃES, Gustavo Costa. **Estudo do Adensamento e Desidratação dos Resíduos Gerados na ETA-Brasília**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Dep. Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007, 118p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – PNSB. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=resultados>>. Acesso em 5 abr.2021.
- NAIR, A. T.; AHAMMED, M. M. The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 272–281, 2015.
- REALI, Marco Antônio Penalva. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/001193781>>. Acesso em 4 abr.2021.
- RUSSELL, J.; PECK, J.; STEPHENS, T.; BROWNE, D.; SEMON, J.; SHEPHERD, N. D.D. Water treatment residuals processing. In: EPA, NRMRL, ASCE e AWWA (coord.) **Manuals and reports of engineering practice, nº 88 - management of water treatment plant residuals**. E.U.A., 1996, 17-40p.
- SOARES, L. V.; ACHON, C. L.; MEGDA, C. R. Impactos ambientais provocados pelo lançamento *in natura* de lodos provenientes de estações de tratamento de água. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. **Anais...** Florianópolis: ICTR 2004. Disponível em: <[https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVO\\_S\\_PDF/08/08-020.pdf](https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVO_S_PDF/08/08-020.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- SUEZ WATER TECHNOLOGIES & SOLUTIONS. **Superpulsator\* Solids Contact Clarifier**. 2020. Disponível em: <<https://www.suezwatertechnologies.com/products/clarifiers/superpulsator-clarifier>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- URBAN, R. C.; ISAAC, R. L.; MORITA, D. M. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: estado da arte. **Revista DAE**, v. 67, n. 219, p. 128–158, 2019.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Filter Backwash Recycling Rule: Technical Guidance Manual**. EPA, 2002.
- TSUTIYA, M.T.; HIRATA, A.Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de Estação de Tratamento de Água do estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

## Adição de Cal a um Lodo de ETA Visando Melhoria da Resistência para Uso em Cobertura Diária de Aterros Sanitários

Angélica dos Santos Silva, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), [angelixbh@gmail.com](mailto:angelixbh@gmail.com)  
Paulo Scarano Hemsj, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), [paulosh@ita.br](mailto:paulosh@ita.br)

**Palavras Chave:** Aterros Sanitários, Cal, Compressão Uniaxial, Lodo

### 1. INTRODUÇÃO

O lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) é um resíduo sólido classificado como não-inerte (NBR 10.004/2004), composto por água, produtos químicos e sólidos em suspensão. Apenas a ETA de Cubatão, uma das maiores do estado de São Paulo, possui capacidade de produção de 4.200 L/s de água potável, gerando entre 60 e 70 toneladas por dia de lodo em massa úmida. No Brasil, a maior parte do lodo gerado nas etapas de decantação e filtração nas ETAs é direcionada à rede de esgotos, disposta em aterros sanitários ou, ainda, irregularmente descartada nos corpos hídricos.

No baixo teor de sólidos (e elevado teor de umidade) em que se encontra originalmente, mesmo após alguma forma de desaguamento realizada na ETA (por exemplo, na ETA de Cubatão, o lodo é desaguado em centrífuga), o lodo possui consistência muito mole, baixa resistência ao cisalhamento e elevada compressibilidade. Sem a secagem adicional, acompanhada ou não da mistura com aditivos químicos, o lodo se apresenta inviável para a utilização em obras de terraplanagem.

Silva e Hemsj (2018) testaram o efeito da secagem ao ar, isso é, aumento do teor de sólidos, do lodo de Cubatão nos valores da resistência ao cisalhamento não-drenada ( $S_u$ ), medida em ensaios rápidos de compressão uniaxial. Uma relação de crescimento exponencial de  $S_u$  com o teor de sólidos ( $t_s = 1/[1+w]$ , onde  $w$  é o teor de umidade gravimétrico) foi obtida nesse trabalho.

O presente artigo apresenta resultados iniciais da adição de um teor de cal a amostra de um lodo da ETA de Cubatão, São Paulo, visando condicionar o

lodo para a aplicação em camada de cobertura diária de célula em aterros sanitários (Figura 1), o que representa situação de ganho mútuo, com redução de custos na disposição final do resíduo (lodo) e economia de solos nos aterros.

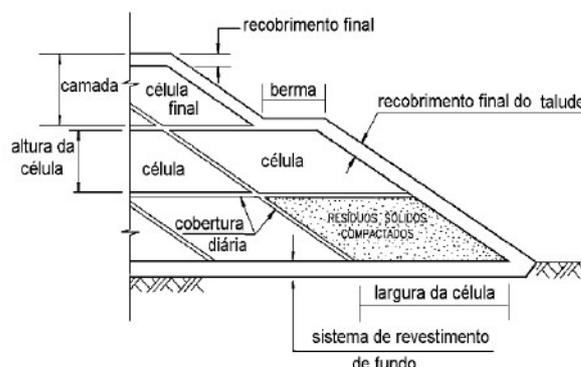


Figura 1. Células e coberturas em um aterro sanitário (ENGEORPS, 1996).

### 2. REQUISITOS NA COBERTURA DIÁRIA

As camadas de cobertura diária e intermediária, realizadas ao longo do preenchimento de um aterro sanitário, visam minimizar a proliferação de vetores de doenças, odores, ação do vento no escape de resíduos, ataque de pássaros, combustão espontânea e a entrada de águas pluviais na célula do aterro (Tchobanoglous & O'Leary, 1994). Os requisitos geotécnicos, construtivos e de comportamento, da cobertura diária não são comumente abordados na literatura; alguns dos importantes requisitos são: teor de água livre máximo; índice de plasticidade máximo (trabalhabilidade); resistência não-drenada mínima e condutividade hidráulica mínima (não causar formação de bolsões d'água nas células). Nesse trabalho, serão abordados limite de liquidez e resistência não-drenada.



### 3. EFEITOS DA ADIÇÃO DA CAL

A adição da cal em solos argilosos conduz a três tipos de reações químicas (Eades & Grim, 1966, Al-Mukhtar et al., 2012) capazes de modificar o comportamento do solo, (i) troca catiônica: ocorre imediatamente, iniciando o processo de estabilização a partir da liberação do  $\text{Ca}^{2+}$  da cal que comprime a camada dupla difusa dos argilominerais com imediata redução da plasticidade; (ii) carbonatação: reação entre o óxido ou hidróxido de cálcio com o  $\text{CO}_2$  da atmosfera, originando calcita,  $\text{CaCO}_3$ , que constitui uma cimentação fraca nos contatos entre grãos; e (iii) reações pozolânicas: formação de géis de silicatos ou aluminatos de cálcio, constituindo uma cimentação forte, os mesmos géis responsáveis pelo ganho de resistência no processo da cura do cimento Portland.

### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1. Materiais utilizados

O lodo utilizado na pesquisa foi proveniente de amostra coletada na ETA de Cubatão (SP), sendo um lodo de cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), previamente desaguado na ETA por meio de centrífuga até teor de sólidos da ordem de 25 a 30 %. A cal utilizada na pesquisa foi uma cal hidratada, de origem calcítica, do tipo CH – I, com alto teor de pureza.

#### 4.2. Métodos de preparo e teste

A amostra de lodo utilizada possuía teor inicial de sólidos de 30 %, que corresponde a um teor de umidade gravimétrico de 230 %. A quantidade de cal adicionada foi suficiente para elevar o teor de sólidos (mistura) a 42 %, reduzindo a umidade gravimétrica a 138 %. A partir da mistura lodo-cal nesse teor de umidade, foi realizada a compactação Proctor Normal em três moldes de compactação conforme a NBR 7182/1986. Em seguida, cada molde com a mistura compactada foi deixado em repouso em ambiente controlado por um período de cura de 5 horas, 24 horas ou 8 dias. Desse modo, a cura se deu com as misturas confinadas dentro do molde de compactação, com mínima exposição à atmosfera. Decorrido o tempo de cura especificado para cada molde, o material

correspondente foi extraído, e três corpos-de-prova (ensaios em triplicata) foram talhados de cada molde nas dimensões 3,5 cm de diâmetro por 7,5 cm de altura com torno manual. A resistência ao cisalhamento não-drenada ( $S_u$ ) foi obtida através de ensaios rápidos de compressão uniaxial, de acordo com a NBR 12770/1992. A compressão foi realizada à velocidade constante de 0,6 mm/min. Os valores de força axial nos corpos-de-prova foram medidos utilizando uma célula de carga tipo S com capacidade de 100 kgf, da marca Solotest com indicador digital de carga. Os deslocamentos verticais impostos aos corpos-de-prova foram medidos com relógio comparador digital com curso até 13 mm (Mitutoyo).

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1. Limite de liquidez

A Tabela 1 apresenta as variações de pH e limite de liquidez (LL) ocorridas com a adição da cal ao lodo, para o tempo de cura de 5 horas. A adição da cal em solos argilosos ocasiona redução da plasticidade (Al-Mukhtar et al., 2012), assim como já observado para lodos de ETA (Wang et al., 1992). Ademais, a adição da cal eleva substancialmente o pH do lodo. Alguns trabalhos indicam o pH de 10,5 para início das reações de cimentação (Onyelowe & Okofofor, 2012).

Tabela 1. Valores de pH e LL do lodo e da mistura.

Parâmetro	Lodo puro	Mistura lodo-cal
pH em água	7,2*	12,7
LL (%)	270	129

(\*) dado obtido por Montalvan & Boscov (2016).

#### 5.2. Resistência não-drenada

A Figura 2 apresenta as curvas tensão-deformação médias para cada triplicata (com barras de erro indicativas de um desvio padrão) para misturas lodo-cal testadas para os tempos de cura considerados, 5 h, 24 h e 8 dias. É possível observar que cada conjunto em triplicata forneceu resultados consistentes. Observa-se, ainda, um aumento significativo na tensão máxima de

compressão com o tempo. O ganho de resistência pode ser atribuído a três efeitos (i) reações de troca catiônica ocorrendo inicialmente, (ii) reações de cimentação, carbonatação (cimentação fraca, mais significativa caso a cura se desse ao ar livre) e pozolânicas (cimentação forte, no longo prazo), e (iii) ressecamento do material dentro do molde de compactação durante o período de cura, com desenvolvimento de tensões de sucção. Quanto ao efeito (iii), imagina-se que tenha sido minimizado pela cura em ambiente controlado e pela talhagem dos corpos-de-prova afastados das bordas do molde de compactação.

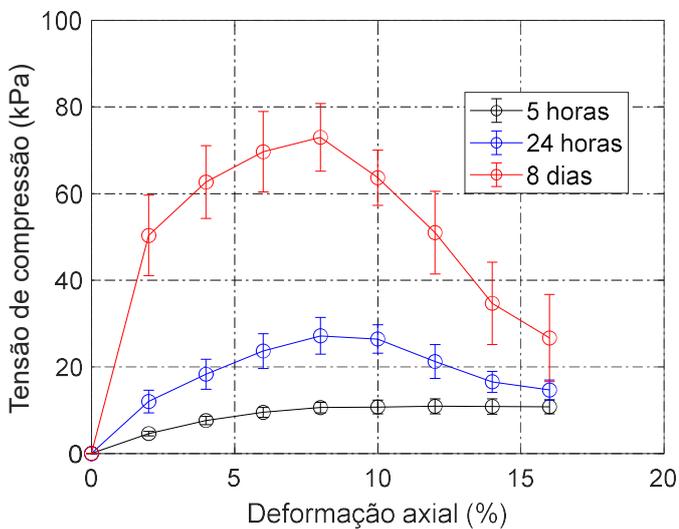


Figura 2. Curvas tensão-deformação médias (triplicatas, com indicação das barras de erro) para as misturas de lodo-cal testadas, com os tempos de cura de 5 h, 24 h, e 8 dias.

A Figura 3 apresenta a resistência não-drenada ( $S_u$ ) na mistura lodo-cal (teor de sólidos da mistura = 42 %) em função do tempo de cura. Para efeito de comparação, mostra-se a evolução de  $S_u$  com o aumento do teor de sólidos do lodo puro (secagem), conforme Silva e Hemsí (2018). Como pode ser observado na figura, a resistência não-drenada das misturas rompidas com 5 horas de cura reflete precisamente o valor do lodo puro com mesmo teor de sólidos (42 %) na curva exponencial de Silva e Hemsí (2018). Tal resultado aparenta contradizer a mudança em LL (Tabela 1) mostrada para o tempo de cura de 5 horas. Em suma, indica que o efeito químico inicial da adição

da cal, que consiste das reações de troca catiônica (imediatas) reduz rapidamente a plasticidade do lodo mas não apresenta um efeito significativo na resistência ao cisalhamento, da forma medida no ensaio realizado. Com o passar do tempo de cura (24 h e 8 dias), o efeito das reações químicas descritas anteriormente conduz a ganhos significativos de resistência. A dosagem de cal utilizada nesse trabalho foi propositalmente muito elevada, para se obter um valor de  $S_u$  (35 kPa) bastante superior ao valor de cerca de 10 kPa considerado como o mínimo necessário para a aplicação do lodo em cobertura diária.

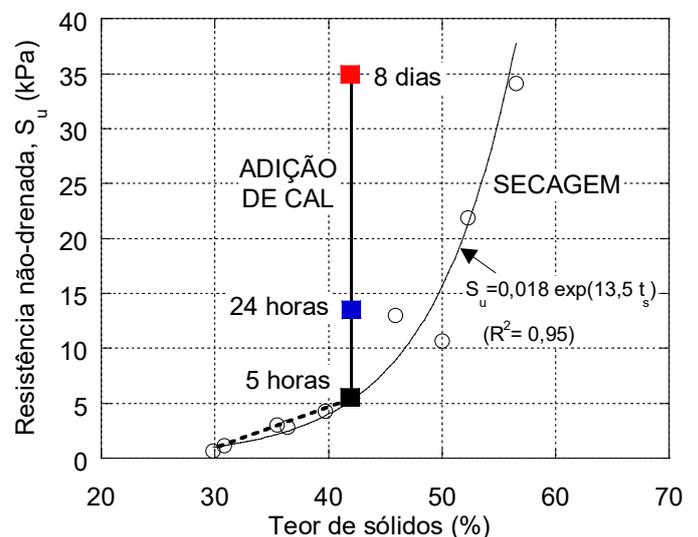


Figura 3. Resistência não-drenada ( $S_u$ ) na mistura lodo-cal (lodo com teor inicial de sólidos de 30 %, que passa para 42 %) aumentando com o tempo de cura, comparada à curva de  $S_u$  versus teor de sólidos do lodo puro obtida por Silva e Hemsí (2018).

## 6. CONCLUSÕES

O trabalho permitiu avaliar preliminarmente o efeito ao longo do tempo da adição de cal hidratada (alta dosagem) em amostra de lodo da ETA de Cubatão. Valores de resistência ( $S_u$ ) em função do tempo de cura das misturas foram obtidos e comparados aos valores de  $S_u$  do lodo puro a diferentes teores de sólidos. As resistências das misturas no tempo puderam ser discutidas à luz das reações químicas descritas na literatura. Novas misturas, a diferentes teores de cal, devem



ser testadas, e outros ensaios realizados, para melhor investigar os efeitos da cal no lodo.

## REFERÊNCIAS

- AL-MUKHTAR M, KHATTAB S, ALCOVER J.F. **Microstructure and geotechnical properties of lime-treated expansive clayey soil**. Engineering Geology. 139–140:17–27, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo: Ensaio de compactação: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12770: Solo coesivo: Determinação da resistência à compressão não confinada: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- EADES, J. L.; GRIM, R. E. A quick test to determine lime requirements for lime stabilization. **Highway Research Board, Washington, D. C.**; n.139, p. 61- 72, 1966.
- ENGENCORPS – Corpo de Engenheiros Consultores. **Estado da Arte dos Aterros Sanitários – Parte II**, 1996. 233 p.
- MONTALVAN, E. L. T.; BOSCOV, M. E. G. Geotechnical characterization of a soil-water treatment sludge mixture. Em: Geo-Chicago 2016: Sustainability, Energy and the Geoenvironment, Chicago, EUA, 2016.
- ONYLOWE, K. C.; OKOAFOR, F. O. Geochemistry of soil stabilization. **ARPJ Journal of Earth Sciences**, v.1, n.1, p. 32-35, 2012.
- SILVA, A. DOS S.; HEMSI, P. S. Efeito do Teor de Sólidos na Resistência ao Cisalhamento de um Lodo de ETA Visando seu Uso em Cobertura Diária de Aterros Sanitários. In: XIX COBRAMSEG, Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2018, Salvador, Brasil.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; O'LEARY, P.R. **Landfilling**. Em: KREITH, F. (ed.) Handbook of solid waste management New York: McGraw-Hill, 1994.
- WANG, M. C., HULL, J. Q., JAO, M., DEMPSEY, B. A. E CORNWELL, D. A. **Engineering behavior of water treatment sludge**. Journal of Environmental Engineering, 118(6): 848-864, 1992.

## AValiação DA SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO E AREIA POR LODO DE ETA NA FABRICAÇÃO DE MATRIZES DE CONCRETO

Mariane Borges Gheller, UTFPR / AP, [mariane\\_gheller@hotmail.com](mailto:mariane_gheller@hotmail.com)  
Juliana Guerra Sgorlon, UTFPR / AP, [juliana.sgorlon@yahoo.com.br](mailto:juliana.sgorlon@yahoo.com.br)  
Maria Carolina Sérgio Gomes, UTFPR / AP, [mcarolinaserjigomes@gmail.com](mailto:mcarolinaserjigomes@gmail.com)  
Marcelo Henrique Leal de Oliveira, UTFPR / AP, [mhenrique7@outlook.com](mailto:mhenrique7@outlook.com)

**Palavras Chave:** ETA, Lodo, Concreto.

### 1. INTRODUÇÃO

Para atender os padrões de água potável, conforme as agências reguladoras determinam, é necessário que água passe pelas estações de tratamento de água - ETA (SHAMMAS, 2013; HOWE, 2016). No entanto, durante esse procedimento são gerados lodos.

Os lodos de ETA podem apresentar características que variam em função da tecnologia empregada na ETA, dos aditivos químicos, da qualidade da água bruta e do solo da região. Esses resíduos são basicamente constituídos de água, sólidos originalmente contidos na água bruta e produtos resultantes dos reagentes químicos empregados no processo de tratamento, como os coagulantes (hidróxido de alumínio ou de ferro) (RICHTER, 2001; MIROSLAV, 2008; DI BERNARDO, DANTAS, VOLTAN 2012; AHMAD *et al.*, 2016; ODIMEGWU *et al.*, 2018).

Contudo, a disposição final adequada para o lodo de uma estação de tratamento de água é trabalhosa, sendo um grande desafio ambiental, pois este procedimento apresenta restrições ambientais e geralmente envolve um custo elevado para sua realização. E apesar da vigente legislação ambiental no Brasil, o lançamento desse lodo nos cursos de água ainda continua sendo realizado, devido seu baixo custo e falta de fiscalização (RICHTER, 2001; LIBÂNIO, 2016; Ooi *et al.*, 2018).

Em meio a esse contexto, pode-se destacar que uma das possíveis tecnologias de reaproveitamento para lodo de ETA é na incorporação como matéria prima para fabricação de concreto. Uma vez que, a indústria da construção civil é reconhecida pela sua demanda

alta e continua de materiais, demonstrando a necessidade de atualizar sua produção tradicional por processos mais sustentáveis (HARBERT, 2013; SMOL *et al.*, 2015; AKAN; DHAVALÉ; SARKIS, 2017).

A utilização de resíduo para fabricação de concreto consiste na aplicação da tecnologia de estabilização e solidificação, que tem sido muito empregada para resíduos sólidos contendo metais. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade da substituição parcial de areia e cimento por lodo de ETA em matrizes de concretos, avaliando como a localização da estação de tratamento de água e o tratamento térmico, podem influenciar nas características finais do concreto.

### 2. METODOLOGIA

A Figura 1 ilustra as principais etapas de desenvolvimento do presente trabalho.

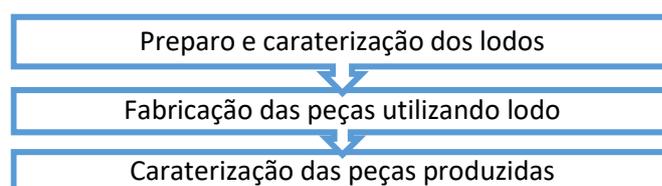


Figura 1. Principais etapas do trabalho.

Os lodos em estudo são provenientes de duas estações de tratamento de água, localizadas no norte do estado do Paraná e no sudoeste do estado de São Paulo, sendo que ambas funcionam com ciclo convencional e utilizam o cloreto de polialumínio (PAC) como agente coagulante principal. As amostras foram submetidas a tratamento térmico, originando o lodo in natura seco a 100 °C e o calcinado a 600 °C. Mas antes do processo de secagem, os resíduos foram



submetidos às análises de sólidos totais, fixos e voláteis, realizadas de acordo com NBR 10664 de 1989. Ainda, para a caracterização dos lodos foi realizado a fluorescência de raios-x. Posteriormente, realizou-se a fabricação dos corpos de prova (5 cm x 10 cm) com a substituição de cimento e areia pelas 4 variedades de lodo (todos em triplicata). A determinação do traço foi estabelecida com base na resistência requerida, que foi de 25 MPa, em termos percentuais (m/m), o lodo constituiu na substituição de 10% do cimento e de areia. A Tabela 1 mostra o traço empregado.

Tabela 1. Traços dos corpos de prova com as proporções em massa.

Traço (m/m)	Referência	10% (cimento)	10% (areia)
Cimento	1,00	0,90	1,00
Areia	1,58	1,58	1,42
Brita	2,81	2,81	2,81
Água	0,49	0,49	0,49

Após a fabricação as peças passaram pelo processo de cura por 28 dias. E em seguida, foram submetidos a ensaios de absorção de água conforme NBR 9778/2009 e de resistência a compressão conforme a NBR 5739/2018, sendo estes resultados submetidos a análises estatísticas por meio do teste de Tukey e da Análise de Variância (ANOVA), com o limite de confiança de 95 %.

### 3. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os valores sólidos totais, fixos e voláteis.

Tabela 2. Porcentagem de sólidos totais, fixos e voláteis presentes nos lodos.

Lodo in natura	% Sólidos totais	% Sólidos fixos	% Sólidos voláteis
PR	27,19	79,47	20,53
SP	25,55	80,71	19,29

Em ambas as amostras de lodo foram verificadas um alto teor de umidade, em torno de 70%, uma vez que os valores de sólidos totais foram de 27,19% para o lodo paranaense e de 25,55% para o lodo paulista. De acordo com Hillebrand e Benetti (2020), os valores de sólidos fixos e voláteis são uma aproximação da diferença

entre a matéria inorgânica e a orgânica, respectivamente. Por meio dos resultados, observou-se altas porcentagens de sólidos fixos nas amostras, 79,47% (PR) e 80,71 % (SP), mostrando que a matriz do resíduo é em grande parte composta por material inorgânico. Este resultado é extremamente favorável para o emprego do lodo como matéria prima para o concreto. A Tabela 3 apresenta a composição dos lodos pela técnica de fluorescência de raios-x.

Tabela 3. Fluorescência de raios-x dos resíduos, expressos em porcentagem de massa.

Composto	% massa			
	LSN	LSC	LPN	LPC
SiO <sub>2</sub>	50,27	50,70	35,16	39,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,41	35,67	26,14	30,69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,75	8,59	32,20	23,88
SO <sub>3</sub>	0,63	0,44	0,62	0,50
TiO <sub>2</sub>	1,98	1,59	3,28	2,87
CaO	0,68	0,81	1,22	1,08
K <sub>2</sub> O	1,77	1,31	0,232	0,20
Outros	0,51	0,89	1,15	1,35
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	94,43	94,96	93,5	94,00

Observa-se que a composição majoritária, cerca de 90%, de todas as amostras estudadas, consiste em três compostos: dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Na Figura 2, esta representada a porcentagem de absorção de água que as matrizes de concreto resultaram. Observa-se que os valores de absorção no geral não ultrapassaram a porcentagem de 10 %, e segundo Hoppen *et al.*, (2006), os concretos com teores de absorção abaixo dessa porcentagem possuem boa qualidade. Foi observado que os corpos de provas produzidos com a substituição de matéria prima por lodo, acarretaram em um ligeiro aumento na porcentagem de absorção de água com relação ao de referência. Verificando ainda, que os concretos com substituição parcial de areia por lodo resultaram em uma porcentagem de água maior que em relação aos de substituição de cimento. No entanto, a análise ANOVA indicou, para as duas condições de substituição parcial de matéria prima, um P-valor inferior a  $\alpha$ . E por meio do teste de Tukey, constatou-se que o corpo de prova com substituição da areia que



apresentou diferença significativa em relação do de referência foi apenas o fabricado com o lodo in natura de São Paulo, enquanto para substituição do cimento foi observado que somente o corpo com lodo calcinado de São Paulo difere com o de referência.

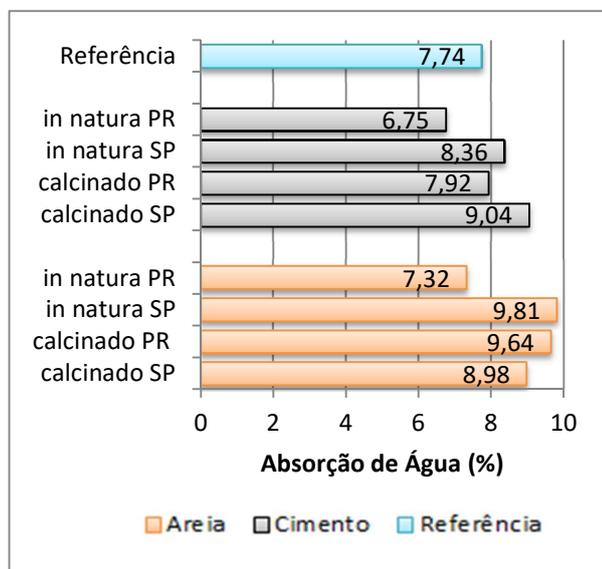


Figura 2. Porcentagem de absorção de água das peças de concreto fabricadas com a substituição parcial de cimento e areia, pelas 4 variedades de lodo.

A Figura 3 apresenta a resistência à compressão obtida para os corpos de provas fabricados com a substituição parcial de areia e cimento, bem como para o de referência. Nota-se que a substituição cimento e areia por lodo em 10% acarretam em uma pequena diminuição da resistência à compressão, sendo que os melhores resultados foram obtidos com a substituição de cimento por ambas as variedades de lodo, que pode ser confirmado ao submeter os valores de resistência a análise ANOVA. Os obtidos a partir da substituição parcial de areia por lodo tiveram P – valor menor que  $\alpha$  ( $0,0023 < 0,05$ ), sendo um indicativo que houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade. O teste de Tukey mostrou que todos os corpos de prova nessa condição apresentaram médias diferentes ao de referência. Já os lodos com substituição parcial de cimento resultam em P-valor superior a  $\alpha$  ( $0,1635 > 0,05$ ) indicando que a substituição de cimento não alterou as características mecânicas das peças. Foi observado também, que houve um melhor desempenho de resistência nos corpos

que receberam o lodo calcinado, indiferente da origem do resíduo.

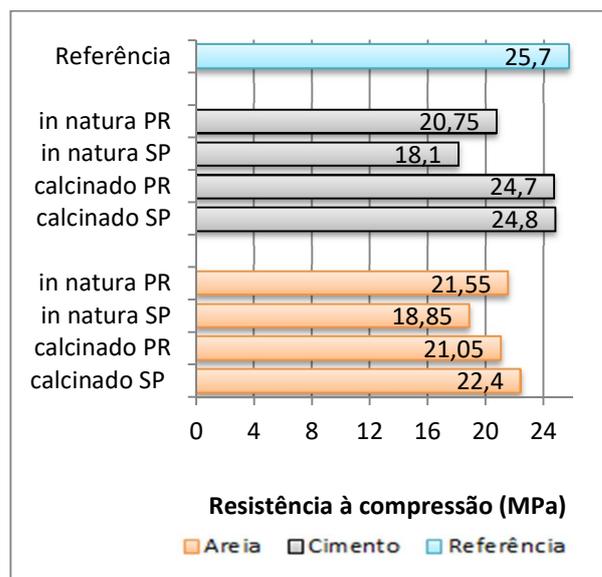


Figura 3. Resistência à compressão das peças de concreto fabricadas com a substituição parcial de cimento e areia, pelas 4 variedades de lodo.

## 4. CONCLUSÃO

Assim, conclui-se que a substituição de cimento por lodo apresenta um melhor desempenho de resistência mecânica do concreto, que em relação à substituição de areia. Tornando o processo ainda mais vantajoso, uma vez que o custo de cimento é superior a da areia. Foi constatado também, que o tratamento térmico no lodo resultou em um melhor desempenho mecânico das peças, e não foi observada influência significativa nos resultados com relação à localização da ETA.

Cabe destacar que os resultados obtidos se restringem as condições experimentais investigadas, isto é, em escala de bancada. Portanto, indica-se o desenvolvimento de um estudo com uma exploração mais ampla, avaliando também outras porcentagens, bem como uma caracterização química minuciosa das peças, a fim de verificar a efetividade de estabilização dos metais presente no lodo.

## AGRADECIMENTOS

Ao órgão de fomento CAPES pelo apoio financeiro.



## REFERÊNCIAS

- AHMAD, T.; AHMAD, K.; AHAD, A.; ALAM, M. Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. **Journal Environmental Manage**, p. 606–611, 2016.
- AKAN, M. Ö., DHAVALÉ, D. G., SARKIS, J.; Greenhouse gas emissions in the construction industry: An analysis and evaluation of a concrete supply chain. **Journal of Cleaner Production**, p. 1195–1207, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10664: águas: determinação de resíduos (sólidos): método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DI B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe, 2012.
- HABERT, G. Environmental impact of Portland cement production. *In: Eco-Efficient Concrete*, Elsevier, p. 3–25, 2013.
- HILLEBRAND, F. J.; BENETTI, A. D. Caracterização da matéria orgânica dissolvida em processos de tratamento de água para consumo humano usando fracionamento rápido. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 24, p. 237-246, 2020.
- HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. **Química Nova**, v. 29, p. 79-84, 2006.
- HOWE, K. J. **Princípios de tratamento de água**. São Paulo: Cengage, 2016.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4. ed. Campinas: Átomo, 2016.
- MIROSLAV, K. Opportunities for water treatment sludge reuse. **GeoScience Engineering**, p.11-22, 2008.
- ODIMEGWU, T. C.; ZAKARIA, I.; ABOOD, M. M.; NKESTIAH, C. B. K.; AHMAD, M. Review on Different Beneficial Ways of Applying Alum Sludge in a Sustainable Disposal Manner. **Civil Engineering Journal**, v. 4, p. 2230-2241, 2018.
- OOI, T. Y.; YONG.; E. L.; DIN, M. F.; REZANIA, S.; AMINUDIN, E.; CHELLIAPAN, S.; RAHMAN, A. A.; PARK, J. O. Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using Response Surface Methodology. **Journal of Environmental Magagement**, v.228, p. 13-19, 2018.
- RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Bluncher, 2001.
- SHAMMAS, N. K. **Abastecimento de água e remoção de resíduos**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- SMOL, M.; KULCZYCKA, J.; HENCLIK, A.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 95, p. 45-54, 2015.

## **AValiação DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ETA COMO IMPERMEABILIZANTE DE OBRAS DE TERRA PARA A CONTENÇÃO DE RESÍDUOS**

*Leonardo Marchiori, Universidade da Beira Interior, GeoBioTec, FibEnTech, Portugal, [leonardo.marchiori@ubi.pt](mailto:leonardo.marchiori@ubi.pt)*

*André Studart, Universidade da Beira Interior, GeoBioTec, FibEnTech, Portugal, [andre.studart@ubi.pt](mailto:andre.studart@ubi.pt)*

*Maria Vitoria Morais, Universidade da Beira Interior, GeoBioTec, FibEnTech, Portugal, [vitoria.morais@ubi.pt](mailto:vitoria.morais@ubi.pt)*

*António Albuquerque, Universidade da Beira Interior, GeoBioTec, FibEnTech, Portugal, [antonio.albuquerque@ubi.pt](mailto:antonio.albuquerque@ubi.pt)*

*Victor Cavaleiro, Universidade da Beira Interior, GeoBioTec, Portugal, [victorc@ubi.pt](mailto:victorc@ubi.pt)*

**Palavras Chave:** Resíduos, ETA, Impermeabilizante, Obras de terra

### **1. INTRODUÇÃO**

Várias obras de terras utilizadas para a contenção de resíduos sólidos e líquidos, aterros sanitários, barragens, entre outros, usam revestimentos impermeabilizantes como geomembranas ou materiais à base de argila como barreiras contra a contaminação de solos. As geomembranas são uma solução de alto custo (DUFFY, 2016) e a utilização de argilas revela-se pouco sustentável do ponto de vista ambiental, uma vez que implica a extração de materiais naturais do solo. Os parâmetros principais para um bom desempenho destes materiais são a baixa condutividade hidráulica ( $\leq 1 \times 10^{-7}$  cm/s), boa resistência mecânica ( $\geq 5$  N/mm<sup>2</sup>) e boas condições de compactação (GANJIAN et al., 2004). A fim de valorizar resíduos para tal aplicação é importante conhecer parâmetros como a granulometria, densidade, limites de consistência, teor de água e composição química, características mecânicas e hidráulicas.

O objetivo do trabalho consistiu na avaliação do potencial de um RETA para poder ser utilizado como impermeabilizante de obras de terra para a contenção de resíduos (p.e. aterros sanitários, lagoas para o tratamento de esgoto e lagoas para retenção de rejeitados de minas), através da produção de misturas de solo com RETA e sua caracterização.

### **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O RETA foi recolhido na ETA do Caldeirão (Portugal) e o solo num estaleiro localizado em

Castelo Branco (Portugal). Ambos foram preparados segundo (ABNT, 2016) para a determinação de granulometria (ASTM D6913, 2017) e por difração a laser em equipamento Coulter LS200 (EUA); massa específica dos grãos ( $G_s$ ) (ASTM D854 - 14); limites de plasticidade (LP) e liquidez (LL) (ASTM D4318 - 17E1); teor de água ( $w$ ) (ASTM D2216 - 19); condutividade hidráulica ( $k$ ) (ASTM D2434 - 19); características de compactação como teor de água ideal ( $w_{opt}$ ) e densidade seca ( $\rho_{d,opt}$ ) (ASTM D698); e análise elementar em óxidos obtida por meio da utilização da técnica EDS (Espectrômetro de Energia Dispersiva), que se encontra acoplado a um microscópio eletrônico de varrimento (SEM) (modelo S-2700 Hitachi, EUA); e classificados de acordo com o Sistema Unificado de Classificação do Solo (USCS). O RETA tinha aproximadamente 75% de teor de água quando foi recolhido na ETA. Foi desidratado a temperaturas entre 60 e 65°C para melhor trabalhabilidade. Prepararam-se as seguintes quatro misturas de RETA com solo, com porcentagens em massa seca, que foram testadas em termos de características de compactação e plasticidade: 1. 5% de RETA e 95% de solo; 2. 10% de RETA e 90% de solo; 3. 15% de RETA e 85% de solo; 4. 20% de RETA e 80% de solo.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Características granulométricas**

As curvas granulométricas e suas características são apresentadas na Figura 1.

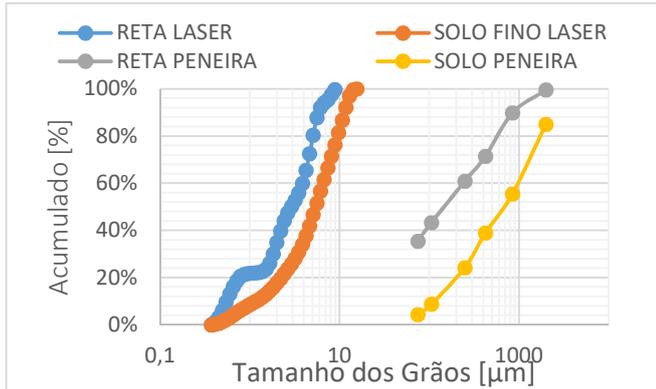


Figura 1. Curvas granulométricas.

A partir do peneiramento de ambos os materiais foram obtidas as curvas RETA PENEIRA e SOLO PENEIRA, classificando-os como SM e SW, respectivamente. Porém, por conta de um difícil destorroamento da amostra do RETA, este foi também analisado sua granulometria pelo método a laser, curva RETA LASER, e pela presença de um sonicador ultrassom em solução aquosa acoplado no equipamento, pode desaglomerar bem as partículas e perceber que a amostra do RETA é principalmente composta por finos. A fim de comparação, somente a parte fina do solo (passada na peneira 75 $\mu$ m) foi analisada no equipamento a laser e obteve-se a curva SOLO FINO LASER. Partículas muito finas do RETA justificam SS de 15900 cm<sup>2</sup>/g, muito maior do que a SS do solo de 0,005 cm<sup>2</sup>/g. Este resultado pode indicar que o RETA necessita de mais líquido para lubrificar e umidificar a superfície, o que afetará características como o peso específico, índices de plasticidade e valores de compactação.

### 3.2. Características geotécnicas

Tabela 1. Características geotécnicas

Index	RETA	Solo	Misturas			
			1	2	3	4
<b>G<sub>s</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,30	2,30	2,15	2,01	1,92	1,83
<b>LL (%)</b>	-	35	39	38	42	55
<b>LP (%)</b>	-	29	32	34	39	54
<b>IP (%)</b>	NP <sup>1</sup>	6	7	4	3	1
<b>w<sub>opt</sub> (%)</b>	86,0	20,5	17,6	22,0	26,6	27,0
<b><math>\rho_{d,opt}</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,26	2,04	1,97	1,91	1,86	1,81
<b>k (cm/s)</b>	8 x 10 <sup>-4</sup>					

<sup>1</sup>NP. não plástico

As características geotécnicas são apresentadas na Tabela 1, a análise elementar e dos óxidos são apresentadas na Tabela 2 e as curvas de compactação na Figura 2.

Tabela 2. Análise elementar do RETA e solo

	Solo (%)	RETA (%)		Solo (%)	RETA (%)
<b>O</b>	62,82	60,86	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,42	-
<b>Na</b>	0,29	-	<b>MgO</b>	1,61	0,59
<b>Mg</b>	0,85	0,30	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	29,52	60,44
<b>Al</b>	12,31	24,49	<b>SiO<sub>2</sub></b>	54,02	29,93
<b>Si</b>	19,11	10,29	<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,23	1,15
<b>Cl</b>	-	1,20	<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,98	-
<b>K</b>	1,91	0,51	<b>CaO</b>	-	2,88
<b>Ti</b>	0,26	-	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	9,22	5,00
<b>Ca</b>		1,06			
<b>Fe</b>	2,45	1,29			

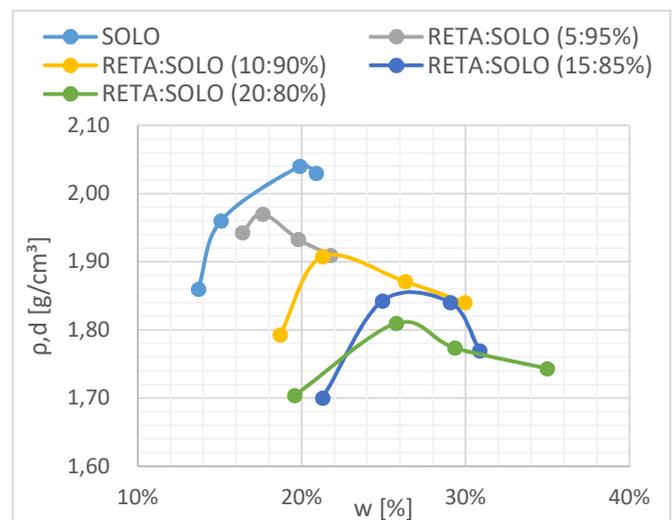


Figura 2. Curvas de compactação.

O solo analisado possui baixa plasticidade e uma baixa massa específica dos grãos, condizente com os solos já estudados da região em (SILVA, 2015). Em relação ao RETA, os resultados indicam um material não plástico, sendo diferente dos valores encontrados em outros estudos, como o valor de 22% para o índice de plasticidade em WOLFF et al. (2007) para um RETA, diferente do RETA testado que apresenta estrutura mineralógica semelhante a ilites e caolinitas. Além disso, G<sub>s</sub> de 1,30g/cm<sup>3</sup> indica uma baixa densidade relacionada a solos, indicando possíveis propriedades de redução final de peso ao produto correspondente à mistura

RETA-solo. A condutividade hidráulica (k) obtida em uma amostra saturada em permeâmetro com carga constante, indicado para solos granulares, de  $8 \times 10^{-4}$  cm/s para o RETA por si só seria insuficiente para atuar como impermeabilizante em obras civis, sendo necessário avaliar também a das iterações RETA-solo. É válido ressaltar que as variâncias encontradas nas análises químicas e índices de plasticidade entre diferentes estudos expõem a variabilidade do RETA, devido às metodologias e coagulantes utilizados nos processos de tratamento de água, tendo em vista que silício, ferro, alumínio e oxigênio corresponderam a grande parte das composições químicas dos RETAS em virtude de estarem entre os elementos mais comuns na terra (GOMES, 1986; RAMANAIDOU; WELLS, 2014).

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o RETA analisado não atende aos parâmetros necessários para atuação como impermeabilizante, porém tem um grande potencial para incorporação com materiais já utilizados, como em misturas com solos argilosos atendendo a requisitos mínimos para barreiras de  $10^{-7}$  cm/s de condutividade hidráulica, contribuindo com um preenchimento dos vazios em virtude de sua fina granulometria. Contudo, é necessário um estudo mais aprofundado a respeito das iterações RETA-solo e de suas condutividades hidráulicas para posterior avaliação frente aos requisitos hidráulicos mínimos de impermeabilizantes em obras de terra. Além disso, a variabilidade do RETA e de suas características indicam a necessidade de sua constante avaliação para as diferentes aplicações possíveis. Entretanto, a adição do RETA ao solo possibilita a redução de peso devido à sua baixa massa específica. Dessa forma, o estudo expõe um início sólido para valorização do RETA para atuação como impermeabilizante, sendo necessário continuidade e aprofundamento nas investigações.

#### AGRADECIMENTOS

O trabalho é apoiado pelos projetos UIDB/00195/2020 (FibEnTech) e

ISBN 978-65-00-22350-7

UIDB/04035/2020 (GeoBioTec), ambos financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

#### REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 6457: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**Rio de Janeiro, 2016.
- AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 124, p. 1–13, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.02.073.
- ASTM D2216 - 19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.** [s.d.].
- ASTM D2434 - 19 Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head).** [s.d.].
- ASTM D4318 - 17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.**
- ASTM D6913 / D6913M-17. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.** West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM D698 - 12e2 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)).**
- ASTM D854 - 14 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.**
- DUFFY, D. P. **Landfill Economics - Getting Down to Business - Part 2.** 2016.
- GANJIAN, Eshmaiel; CLAISSE, Peter A.; TYRER, Mark; ATKINSON, Alan. Selection of Cementitious Mixes as a Barrier for Landfill Leachate Containment. **Journal of Materials in Civil Engineering**, [S. l.], v. 16, n. 5, p. 477–486, 2004. DOI: 10.1061/(asce)0899-1561(2004)16:5(477).
- GOMES, Celso. **Argilas: O que são e para que servem.**
- RAMANAIDOU, E. R.; WELLS, M. A. Sedimentary Hosted Iron Ores. In: **Treatise on Geochemistry**. 2. ed. [s.l.] : Elsevier, 2014. v. 13p. 313–355. DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01115-3.
- SILVA, Flora Cristina Meireles. **Avaliação da capacidade reativa de solos residuais destinados à infiltração de águas residuais tratadas.** 2015. Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2015.
- WOLFF, E.; SCHWABE, W. K.; LANDIM, A. B.; VITORINO, M. D.; DOS SANTOS, W. L. A Substituição de Argila por Lodo de ETA na Produção de cerâmica Vermelha. In: 51º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA 2007, Salvador, BA. **Anais [...]**. Salvador, BA

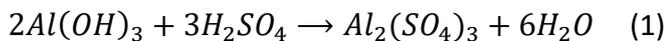
## CONTRIBUIÇÕES PARA DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS DE MISTURA PARA O PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE COAGULANTE

*Bruno Moreno Ramos da Silva, Universidade Federal de Viçosa (UFV), bruno.moreno@ufv.br*  
*Rafael Kopschitz Xavier Bastos, Universidade Federal de Viçosa (UFV), rkxb@ufv.br*  
*Thiago José Dias Godinho (UFV), thiago.godinho@ufv.br*

**Palavras Chave:** Lodo, Recuperação de coagulantes, Tratamento de água, Gradiente de velocidade

### 1. INTRODUÇÃO

A recuperação de coagulantes de lodo de ETA é um processo conhecido, com as primeiras tentativas reportadas no início dos anos 1900 (ROBERTS e RODDY, 1960). Permite a redução de volume do lodo a ser tratado e disposto e a obtenção de sobrenadante com elevadas concentrações de metais (alumínio ou ferro) que pode ser reutilizado como coagulante (AWWA, 1991). Com utilização de ácido sulfúrico, o processo pode ser representado de maneira simplificada pela Equação 1 (FULTON, 1974).



Diversos estudos realizados permitiram identificar fatores intervenientes na recuperação de coagulantes: a concentração de sólidos do lodo, a razão entre a massa de ácido sulfúrico e massa de metal, o pH de extração, o tempo de reação e o processo de separação de fases (AWWA, 1991). Entretanto, poucos estudos avaliaram o efeito das condições de mistura; além disso, nos estudos disponíveis (GUIMARÃES, 2005; CHENG *et al.*, 2012) a intensidade de mistura é expressa em rotações por minuto (RPM) ao invés de gradiente de velocidade, dificultando o estabelecimento de parâmetros para realização de ensaios de banca e piloto, bem como para o dimensionamento de unidades em escala real. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do gradiente de velocidade e do tempo de mistura sobre a recuperação de coagulante de lodo de sulfato de alumínio.

Por fim, cumpre esclarecer que apesar de que a recuperação de lodo coagulantes a partir de lodo de ETA para utilização no tratamento de água não ter se demonstrado atrativa do ponto de vista técnico-financeiro, novas aplicações vêm sendo testadas, como para o tratamento de esgoto

sanitário (ISHIKAWA *et al.*, 2007; XU *et al.*, 2009; CHEN *et al.*, 2012; NAIR e AHAMMED, 2014). No presente trabalho a recuperação do coagulante visa a aplicação para a remoção de fósforo em tratamento terciário de dejetos de suinocultura.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

#### 2.1. ETA UFV

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) conta com um sistema próprio de abastecimento de água, cuja ETA é suprida por um manancial represado, com baixa turbidez na maior parte do ano. O tratamento na ETA UFV é realizado em ciclo completo utilizando sulfato de alumínio como coagulante; a remoção do lodo é realizada de forma manual e intermitente.

#### 2.2. Coleta e armazenamento do lodo de ETA

O lodo da ETA UFV foi coletado no decantador por meio de um sifão com uma mangueira e armazenado em bombonas de 80 L. Antes dos ensaios de recuperação do coagulante foi realizada a caracterização do material por meio das análises de pH, DQO, concentração de sólidos e metais (alumínio e ferro).

#### 2.3. Ensaios de recuperação de coagulante

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Controle da Qualidade da Água (LCQA) da ETA UFV. A recuperação de coagulantes foi feita via ácida (pH = 2,0) utilizando ácido sulfúrico 0,4 N como solução extratora e o lodo utilizado (lodo fresco, tal como armazenado nas bombonas) teve sua concentração de sólidos previamente ajustada para 2,0% com água decantada. A concentração de ácido sulfúrico utilizada propiciou razão de 4,63 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/kg Al durante os ensaios. Os ensaios foram realizados em agitadores estáticos (*Jar Test*), com: intensidade de agitação (A) de 100 a 200 s<sup>-1</sup> (86 a

170 rpm), tempo de reação (B) de 5 a 20 minutos, tempo de decantação de 40 minutos. As condições experimentais e faixas de valores dos fatores adotados foram determinadas com base na literatura (AWWA, 1991; CHENG *et al.*, 2012; NAIR e AHAMMED, 2014; CABRAL, 2018).

As combinações dos fatores A e B testadas foram determinadas com base em delineamento composto central de face centrada, inteiramente casualizado e com quatro repetições no ponto central. No total, foram nove tratamentos testados e 12 experimentos para otimização da recuperação de coagulante.

#### 2.4. Métodos analíticos

As análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA e WEF, 2012). A análise de pH foi feita utilizando pHmetro Digimed DM-2P. A concentração de sólidos no lodo de ETA e no coagulante recuperado foi determinada por gravimetria. Para a determinação da fração em suspensão para o coagulante recuperado foi realizada previamente a filtração da amostra em filtro de fibra de vidro; para a determinação da fração fixa foi realizada a calcinação das amostras a 550 °C. A análise de DQO do lodo de ETA e do coagulante recuperado foi realizada por refluxo fechado e colorimetria. Para a análise de fósforo total por meio do método do cloreto estanofo foi feita a digestão com ácido nítrico e ácido sulfúrico concentrados.

As análises de metais (alumínio e ferro) foram realizadas por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), no Laboratório de Espectrometria de Absorção Atômica do Departamento de Solos da UFV. Para as análises de metais, as amostras de lodo e coagulante recuperado foram previamente digeridas. As amostras de lodo foram inicialmente secas em estufa a 105 °C e peneiradas na malha de 200 mesh (0,075 mm), para posterior digestão segundo método EPA 3050B (USEPA, 1996). Para o coagulante recuperado, o preparo das amostras foi realizado de acordo com o método EPA 3010A (USEPA, 1992).

#### 2.5. Avaliação da qualidade do coagulante recuperado

Ao final dos ensaios, a qualidade do coagulante recuperado foi avaliada com relação às seguintes variáveis: pH, sólidos suspensos, DQO, fósforo total e metais. Com os valores de concentração de alumínio na amostra sólida (lodo de ETA) e concentração de alumínio solúvel no coagulante recuperado, pode-se obter o percentual de alumínio recuperado em cada ensaio.

#### 2.6. Análises estatísticas

A significância do modelo obtido e dos coeficientes do modelo foi avaliada por meio dos testes F e t de Student ( $\alpha = 0,05$ ), respectivamente, com o software R versão 3.2.1.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Características do lodo da ETA UFV

As características do lodo bruto utilizado para os ensaios de recuperação de coagulante são apresentadas na Tabela 1. No entanto, conforme descrito no item 2.3, a concentração de lodo era ajustada para 2% antes da realização dos ensaios de recuperação.

Tabela 1. Características do lodo utilizado nos ensaios de recuperação de coagulante

Característica	Valor *
Concentração de sólidos (%)	2,98 ± 0,09
Fração de sólidos voláteis (%) **	32 ± 1,9
DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	9.146 ± 1.173
Alumínio (%)	12,7 ± 0,3
Ferro (%)	7,3 ± 0,4
Fósforo (%)	0,14 ± 0,01
pH	7,0 ± 0,1

\* média ± desvio padrão; n = 12;

\*\* (Sólidos voláteis/ sólidos totais) x 100

As características do lodo bruto não apresentaram grande variabilidade. Devido ao tempo elevado de armazenamento do lodo no decantador (269 dias), a concentração de sólidos apresentou valores elevados (3,0 %). Cerca de um terço dos sólidos correspondeu à fração volátil, sendo que a DQO também apresentou valores elevados.

### 3.2. Otimização da recuperação de coagulante

As combinações de gradiente de velocidades (A) e tempo de mistura (B) empregados nos ensaios de recuperação do coagulante e os resultados de alumínio e ferro obtidos das análises do coagulante recuperado são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Características do coagulante recuperado após os ensaios

Experimento	Gradiente (s <sup>-1</sup> )*	Tempo (min)*	Alumínio (% recuperação)	Ferro (% extraído)
1	100 (-1)	5 (-1)	63,9	37,3
2	100 (-1)	20 (1)	64,7	44,0
3	200 (1)	5 (-1)	65,1	47,3
4	200 (1)	20 (1)	59,9	40,2
5	100 (-1)	12,5 (0)	62,1	45,6
6	200 (1)	12,5 (0)	62,9	45,5
7	150 (0)	5 (-1)	58,1	42,2
8	150 (0)	20 (1)	64,3	40,8
9	150 (0)	12,5 (0)	68,5	43,2
10	150 (0)	12,5 (0)	59,5	37,4
11	150 (0)	12,5 (0)	66,6	41,0
12	150 (0)	12,5 (0)	58,6	37,6

\*variáveis codificadas em parênteses

Os fatores tempo de mistura e gradiente de velocidades não exerceram efeito significativo ( $p_{\text{valor}} > 0,05$ ) sobre a recuperação de alumínio e a solubilização de ferro, sendo obtidos valores médios de 62,5% e 41,9%, respectivamente. Além disso, as concentrações médias de alumínio e de ferro no coagulante recuperado foi 1001 mg Al L<sup>-1</sup> e 384 mg Fe L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Considerando que os fatores gradiente de velocidades e tempo de mistura não exerceram influência significativa na recuperação de alumínio do lodo de ETA, as condições ótimas para a produção do coagulante recuperado determinadas foram gradiente de velocidade de 100 s<sup>-1</sup> e tempo de mistura de 5 min. A definição dos valores ótimos foi baseada em questões econômicas, pois o uso de uma menor intensidade de mistura gera menor consumo de energia e o menor tempo de mistura implica em menor

volume de reator necessário para o processo de recuperação.

Embora os fatores gradiente de velocidade e tempo de mistura não tenham influenciado na recuperação de coagulante, esses fatores afetaram a qualidade do coagulante recuperado em termos de sólidos suspensos, DQO e fósforo. Foi observado que o aumento do gradiente e tempo aumentou significativamente a concentração de sólidos, a DQO e o fósforo total do coagulante recuperado.

A próxima etapa deste trabalho será avaliar a efetividade do coagulante recuperado para remoção de fósforo em tratamento terciário de efluente de suinocultura. Considerando que o efluente secundário já teve grande parte da matéria orgânica e dos sólidos suspensos removidos e o objetivo do tratamento proposto é a remoção de fósforo, é desejável que o coagulante recuperado apresente valores baixos de DQO, sólidos suspensos e fósforo.

As condições ótimas em termos da recuperação de alumínio definidas para a produção do coagulante (gradiente = 100 s<sup>-1</sup> e tempo = 5 min) foram as mesmas que proporcionaram os menores valores de DQO (1100 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>), concentração de sólidos suspensos (100 mg L<sup>-1</sup>) e de fósforo total (7,0 mg P L<sup>-1</sup>).

## 4. CONCLUSÕES

Os fatores gradiente de velocidades e tempo de mistura não exerceram influência significativa sobre a recuperação de alumínio do lodo de ETA. A definição dos valores ótimos (gradiente de velocidade = 100 s<sup>-1</sup>; tempo de mistura = 5 min) foi baseada em questões econômicas. O coagulante recuperado produzido nessas condições apresentou as seguintes características: pH = 2,2; Al = 1001 mg L<sup>-1</sup>; Fe = 384 mg L<sup>-1</sup>; SS = 100 mg L<sup>-1</sup>; P<sub>total</sub> = 7,0 mg P L<sup>-1</sup>; e DQO = 1100 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à agência brasileira CAPES pela concessão de bolsa de doutorado.



## REFERÊNCIAS

- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. *Coagulant recovery: a critical assessment*. Denver: AWWA Research Foundation e American Water Works Association, 1991.
- CABRAL, V. A. L. *Manejo de lodos de estações de tratamento de água: tratamento e valorização de resíduos na composição de massa para cerâmica artística*. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil; Saneamento ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.
- CHEN, Y. J.; WANG, W. M.; WEI, M. J.; CHEN, J. L.; HE, J. L.; CHIANG, K. Y. WU, C.C. Effects of Al-coagulant sludge characteristics on the efficiency of coagulants recovery by acidification. *Environmental technology*, v. 33, n. 22, p.2525-2530, 2012.
- CHENG, W.; FU, C.; CHEN, P.; YU, R. Dynamics of aluminum leaching from water purification sludge. *Journal of Hazardous Materials*, v. 217-218, p. 149-155, 2012.
- FULTON, G.P. Recover alum to reduce waste-disposal costs. *Journal of American Water Works Association*, v. 66, n.5, p.312-318, 1974.
- GUIMARÃES, N. C. *Recuperação de coagulante a partir da acidificação de resíduos gerados na Estação de Tratamento de Água do Rio Manso*. 2005. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- ISHIKAWA, S.; UEDA, N.; OKUMURA, Y.; IIDA, Y.; BABA, K. Recovery of coagulant from water supply plant sludge and its effect on clarification. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. v. 9, n.2, p.167-172, 2007.
- NAIR, A.T.; AHAMMED, M.M. Coagulant recovery from water treatment plant sludge and reuse in post-treatment of UASB reactor effluent treating municipal wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 21, n. 17, p.10407-10418, 2014.
- ROBERTS, J.M.; RODDY, C.P. Recovery and reuse of alum sludge at Tampa. *Journal of American Water Works Association*, v. 52, n. 7, p.857-866, 1960.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Acid digestion of aqueous samples and extracts for total metals for analysis by FLAA or ICP spectroscopy. Method 3010A*. United States Environmental Protection Agency, US Governmental Printing Office, Washington DC, 1992.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Acid digestion of sediment, sludge and soils. Method 3050B*, 2. ed. United States Environmental Protection Agency, US Governmental Printing Office, Washington DC, 1996.
- XU, G.R.; YAN, Z.C.; WANG, Y.C.; WANG, N. Recycle of alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. *Journal of Hazardous Materials*, v. 161, p.663-669, 2009.

## ESTUDO PILOTO DO USO DO LODO DE ETA'S EM ARGAMASSAS

Marcos David dos Santos, UFPE, [marcos.david@ufpe.br](mailto:marcos.david@ufpe.br)  
Arnaldo Manoel Pereira Carneiro, UFPE, [arnaldo.carneiro@ufpe.br](mailto:arnaldo.carneiro@ufpe.br)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Argamassa, Resíduo, Cimento

### 1. INTRODUÇÃO

A estação de tratamento de água (ETA) compreende uma indústria onde ocorre a transformação da matéria-prima, água bruta, em um produto final, que é a água tratada. Através desse processo geram-se resíduos nocivos ao meio ambiente e que prejudicam a qualidade de vida garantida por legislação. Por muito tempo o lodo era despejado em cursos de águas próximas as estações de tratamento ou em aterros, porém, conforme a ABNT NBR 10004 (2004) o lodo de ETA é classificado como resíduo sólido pertencente a classe II A (não inerte), que impossibilita o seu lançamento em corpos de água ou na rede pública de esgoto sanitário, exigindo assim tecnologias adequadas para o seu tratamento e disposição final. O trabalho tem como objetivo avaliar a incorporação do lodo de ETA em argamassas de cimento, cal e areia, de modo a verificar a estabilidade física e química do lodo quando misturado ao cimento Portland, bem como as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1 Planejamento

A Figura 1 apresenta o fluxograma com as etapas realizadas na pesquisa.

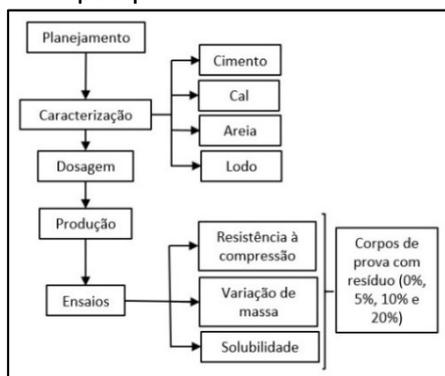


Figura 1. Fluxograma dos procedimentos realizados.

A escolha do traço de argamassa a ser empregado foi feita de acordo com traços obtidos na literatura e de experiências anteriores, de modo que a relação aglomerante/agregado seja fixa em 1/3, em volume. Sendo assim os traços escolhidos foram: 1:3 (cimento e areia), 1:1:6 (cimento, cal hidratada e areia) e 1:2:9 (cimento, cal hidratada e areia). Em todos os traços a fração do cimento será substituída parcialmente pelo teor do resíduo nas proporções descritas na Tabela 1. Logo, serão dosados 3 traços para 4 relações cimento/resíduo num total de 12 traços de argamassas.

Tabela 1. Teor de cimento e resíduo dos traços.

Cimento (%)	Resíduo (%)	Nomenclatura
100	0	Tipo 1
95	5	Tipo 2
90	10	Tipo 3
80	20	Tipo 4

#### 2.2 Caracterização

A caracterização do cimento Portland (CP II-E) foi dado pelo fabricante. A areia natural foi encontrada na região metropolitana do Recife/PE, para qual foram realizados os ensaios de densidade de massa aparente e composição granulométrica. A caracterização da cal hidratada (CH II) foi fornecida pelo fabricante. A caracterização do lodo foi dada pelos técnicos da Estação de Tratamento de Água de Gurjaú – COMPESA, localizada na cidade do Cabo de Santo Agostinho/PE. O lodo é proveniente da limpeza dos decantadores, lavagem dos filtros, dos floculadores e tanques de preparo de soluções e suspensões. Todos os materiais foram selecionados conforme disponibilidade e utilização local.

#### 2.3 Dosagem e produção

Foram utilizados aproximadamente 6kg de aglomerantes mais agregados (cimento, cal hidratada, lodo e areia) para confecção dos corpos de prova empregados nos ensaios das argamassas no estado endurecido. Foram determinadas as massas unitárias dos materiais envolvidos na produção das argamassas, a fim de converter o traço em volume para um traço em massa. Além disso, realizaram-se ensaios nas argamassas no estado fresco, com o objetivo de descobrir a relação água/cimento a ser utilizada nos traços. O consumo de água para obtenção da consistência pré-fixada foi determinado analogamente ao método especificado na norma ABNT NBR 9290 (1996). Com o valor da relação a/c encontrado nos ensaios do estado fresco e com as porcentagens de lodo da ETA, foram determinadas as dosagens dos traços. A produção da argamassa foi realizada a partir da mistura do cimento e cal com a areia natural e a adição do lodo destorroado no estado seco, sem nenhum tipo de beneficiamento ou ajuste granulométrico. Antes de preparar a argamassa com adição do resíduo sólido, fez-se a composição da areia seca e maturação da cal hidratada.

#### 2.4 Ensaios

A argamassa no estado endurecido será curada durante a idade especificada para o ensaio aos 28 dias de idade. Após este tempo de endurecimento serão realizados os ensaios de resistência mecânica à compressão nos corpos de prova (de 3 a 5 para cada traço e tipo) de acordo com a ABNT NBR 7215 (2019). A determinação da variação de massa foi realizada de acordo com procedimento descrito em Carneiro (1999). O ensaio qualitativo de solubilidade foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 10006 (2004) tendo como finalidade verificar se ocorreu a fixação dos metais do resíduo na matriz solidificada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização

O cimento apresentou massa específica igual a  $3,08 \text{ g/cm}^3$ , com densidade aparente de  $1,2 \text{ g/cm}^3$  e 2,2% de finura, além de tempo de início e fim de pega de 02h:40min e 03h:45min, respectivamente.

A cal hidratada mostrou cerca de 64,2% de CaO em sua composição, finura de 18,2% e massa unitária igual a  $595 \text{ kg/m}^3$ . A areia foi classificada como areia média, apresentando granulometria uniforme, massa unitária de  $1,67 \text{ g/ml}$ , dimensão máxima característica de 2,4mm e módulo de fina de 2,61%. Com o lodo coletado pode-se constatar que ele tem alta umidade observada pela perda de cerca de 75% do peso em menos de 24 horas quando em estufa a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . O sulfato de alumínio é o coagulante usado em todas ETA's, que resultam em um lodo de coloração marrom. A umidade média dos lodos é de 93%. Os valores médios de alumínio encontrados para estas ETA's foram de  $1000 \text{ mg/l}$ . O ferro apresentou valores de  $500 \text{ mg/l}$ .

#### 3.2 Dosagem e produção

A relação a/c foi obtida no ensaio de mesa de consistência para cada tipo e traço, com intervalo de espalhamento de 260mm com variação de +/- 10mm. Para o traço 1:3 o intervalo de relação a/c foi de 0,75 a 1,27. Para o traço 1:1:6, o intervalo foi de 1,73 a 2,95 e, no caso de 1:2:9, a faixa de a/c foi de 2,71 a 3,99.

#### 3.3 Variação de massa

De acordo com a Figura 2 (traço 1:3), verifica-se que com a diminuição da fração fino/grosso, devido ao acréscimo do teor de lodo em relação ao cimento, ocorre um aumento no intervalo  $dm/dt$ , concluindo que o lodo entra na dosagem como um material grosso e que não contribui na retenção de água de amassamento ao longo do tempo, o que desfavorece o endurecimento da argamassa e aumenta a possibilidade de fissuras de retração por secagem.

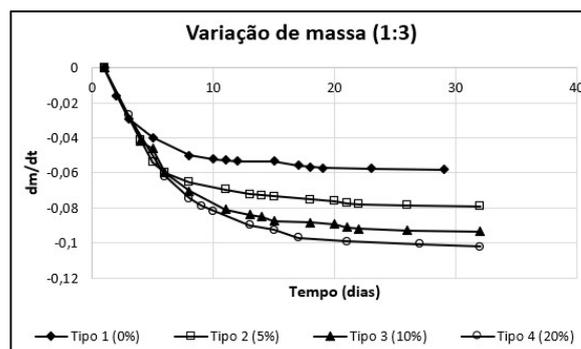


Figura 2. Variação de massa para o traço 1:3.

A partir da Figura 3 (traço 1:1:6), observou-se que as taxas de variação de massa são parecidas mesmo com a variação da porcentagem de lodo, além disso foi verificado também que a argamassa com adição de 5% de lodo neste traço apresentou uma menor variação de massa ao longo do tempo.

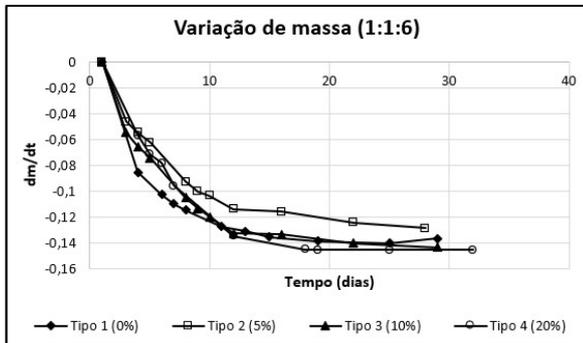


Figura 3. Variação de massa para o traço 1:1:6.

A taxa de variação de massa cresce de acordo com o acréscimo da porcentagem de cal hidratada em relação ao cimento, isto é, a fração  $dm/dt$  do traço 1:2:9 (Figura 4) é maior do que no traço 1:1:6 que é superior ao traço 1:3.

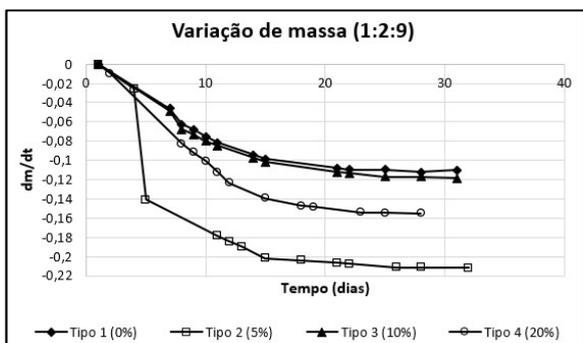


Figura 4. Variação de massa para o traço 1:2:9.

As figuras 3 e 5 apresentaram a mesma tendência de taxa de variação de massa (com a exceção da falha ocorrida na dosagem do Tipo 3 do traço 1:2:9), isto é, com o acréscimo de lodo ocorre um acréscimo na fração  $dm/dt$ .

### 3.4 Resistência à compressão

A princípio, verifica-se na Figura 5 que o traço 1:2:9 não apresentou a mesma tendência que os gráficos dos traços 1:3 e 1:1:6, significando que provavelmente ocorreu um erro na dosagem durante a mistura da argamassa do traço 1:2:9 Tipo 3, pois isto também foi observado na curva de variação de massa (Figura 4). Logo, esta falha se

deve a não inclusão da porcentagem de lodo no referido traço (Tipo 3 - 10% de lodo), fazendo com que a argamassa adquirisse características semelhantes ao Tipo 1 (0% de lodo) do mesmo traço (1:2:9). Caso este erro não ocorresse, o gráfico apresentaria a mesma tendência que os dois primeiros, onde a resistência decresce com o aumento da porcentagem de lodo. A partir dos valores encontrados no ensaio de resistência à compressão simples, verificou-se uma queda do Tipo 1 (0% de lodo) para o Tipo 4 (20% de lodo), de 29% a 40% da resistência dos corpos de prova.

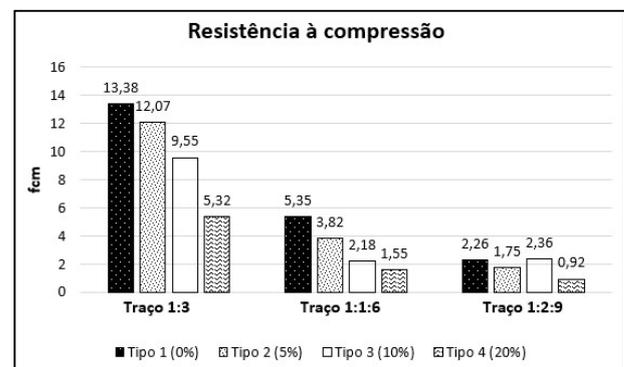


Figura 5. Resistência à compressão simples para cada traço e tipo do lodo.

### 3.5 Solubilidade

O resultado do ensaio qualitativo de solubilidade não apresentou turbidez em nenhuma das amostras estudadas, indicando a princípio, que houve fixação dos metais nas argamassas no estado endurecido.

## 4. CONCLUSÕES

Para um traço com um pequeno teor de cal maturada e com adição de 5% a 10% de lodo em relação ao cimento, a resistência à compressão simples não terá queda significativa. Conforme os resultados apresentados no ensaio de variação de massa, o acréscimo de lodo na argamassa não favorece a retenção de água de amassamento, com a exceção da adição de 5% de lodo para o traço 1:1:6. No ensaio de solubilidade, a princípio, foi indicado que houve a fixação dos metais nas argamassas no estado endurecido. Contudo, será avaliado o comportamento da argamassa frente ao ensaio de carbonatação acelerada em conjunto com uma análise microestrutural por DRX e MEV.



## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9290: Cal hidrata para argamassas - Determinação de retenção de água - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.
- CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

## ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM LODO FÉRRICO

Vitor Tonzar Chaves, Escola Politécnica - USP, [vitor.chaves@alumni.usp.br](mailto:vitor.chaves@alumni.usp.br)

Ronan Cleber Contrera, Escola Politécnica da USP, [contrera@usp.br](mailto:contrera@usp.br)

Iara Regina Soares Chao, SABESP, [Ichao@sabesp.com.br](mailto:Ichao@sabesp.com.br)

Dione Mari Morita, Escola Politécnica da USP, [dmmorita@usp.br](mailto:dmmorita@usp.br)

**Palavras Chave:** Lodo; Adsorção; Fósforo; Usos benéficos

### 1. INTRODUÇÃO

Um possível uso benéfico do lodo de ETA é utilizá-lo no processo de tratamento de esgoto, com o objetivo de recuperar o fósforo presente nos efluentes.

Os óxidos e hidróxidos de Al e Fe encontrados no lodo proveniente das ETAs são conhecidos por exibir uma natureza amorfa e porosa que propicia a adsorção de ânions incluindo o fosfato (BABATUNDE et al., 2009; AHMAD et al., 2016ab; MAKRIS et al., 2005).

Para investigar a viabilidade técnica desta aplicação, este estudo teve como objetivo obter isotermas de adsorção de fósforo para o lodo férrico oriundo da Estação de Tratamento de Água de Cubatão.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. O lodo férrico da ETA Cubatão

O lodo férrico desaguado utilizado nesse estudo foi obtido na Estação de Tratamento de Água de Cubatão.

O lodo desaguado por meio de centrífugas e com adição de polímeros pré-centrífuga possuía inicialmente teor de sólidos de aproximadamente 20% e idade do lodo de 93 dias.

Esse lodo foi devidamente seco ao tempo. Em seguida, realizou-se quarteamento da amostra e o lodo selecionado foi moído e peneirado, obtendo-se um material com diâmetro menor que 2 mm. A fração quarteada da amostra foi devidamente acondicionada e desta porção foram selecionadas as amostras utilizadas para caracterização e para os ensaios de isotermas.

Para caracterizar a sua composição metálica foi utilizada amostra em triplicata com quantidade

significativa de lodo seco. O método de digestão aplicado foi SM 3030 F (APHA, AWWA e WEF, 2017) e o procedimento de caracterização foi realizado com um espectrômetro de absorção atômica Varian, modelo 214 FS, seguindo SM 3111 B: Método de Chama a Ar-Acetileno Direto (APHA, AWWA e WEF, 2017). O potencial zeta do lodo foi medido utilizando um Malvern Zetasizer Nano Series ZS.

#### 2.2. Ensaios de Isotermas de Adsorção

Para determinação das concentrações de fósforo, seguiu-se os métodos estipulados pelo item 4500.P do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA e WEF; 2017). Para os ensaios das isotermas de adsorção, os procedimentos adotados foram baseados em normativa publicada pela EPA (1992).

Em todos os ensaios, foi utilizada solução padrão de concentração conhecida de 5 mg P.L<sup>-1</sup>, preparada dissolvendo-se KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> em água deionizada. Para cada batelada realizada foi feita análise em triplicata da solução padrão afim de auferir sua concentração de fósforo. Para o ajuste de pH foi utilizada solução de NaOH 0,01 N e de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,01 N antes de misturar a solução com o lodo.

Foram realizadas quatro bateladas, em duplicata, cada uma para um diferente pH inicial (3,9; 6,0; 6,9 e 9,0), e cada qual com 6 frascos Duran, onde foram colocadas 100 mL da solução padrão preparada com diferentes massas de lodo férrico seco ao ar. Cada batelada foi realizada em mesa giratória, com 180 rpm durante 24 h, temperatura média de 25 °C, e com 6 diferentes concentrações de lodo: 0,1, 1, 2, 5, 8 e 10 g.L<sup>-1</sup>, fornecendo dados suficientes para o cálculo das curvas de isoterma de adsorção. As amostras coletadas no final das bateladas foram devidamente filtradas com

membranas de 0,45 µm e as medições das concentrações finais de fosfato presentes na fase líquida foram realizadas em duplicata.

Para determinar com precisão o conteúdo de sólidos, uma amostra em triplicada do lodo peneirado foi retirada antes de cada batelada ser executada e colocada em um forno a 140 °C, até atingir massa constante, e deixadas arrefecer durante 2 horas em um dessecador adequadamente selado. Todas as concentrações de lodo expressas ao longo das discussões são em termos de massa seca.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização do lodo

O lodo da ETA Cubatão analisado tinha uma densidade aparente de  $1,50 \pm 0,13 \text{ g/cm}^3$  e uma porosidade de  $42\% \pm 3\%$ . Observou-se a predominância de ferro (Fe), o que era esperado, uma vez que esse lodo é proveniente de uma ETA que aplica cloreto férrico como coagulante. Esta predominância de ferro reativo na superfície do lodo está associada à sua alta afinidade pela adsorção de fosfato (SONG et al., 2011).

A Tabela 1 apresenta os valores em  $\text{mg.g}^{-1}$  dos teores de metais avaliados para o lodo férrico analisado.

Tabela 1 - Metais encontrados no lodo estudado

Mat	Méd	Desv. Pad.	Mat	Méd	Desv. Pad.
Al ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	N/A	N/A	K ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	0,392	0,023
Ca ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	9,94	0,519	Mg ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	1,072	0,115
Cd ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	0,003	0	Mn ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	2,39	0,04
Cr ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	0,006	0,002	Na ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	0,885	0,438
Cu ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	0,062	0,004	Ni ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	0,047	0
Fe ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	273,1 2	17,44	Pb ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	0,023	0,002

Os valores de potencial zeta também foram medidos. Outros autores concluíram em seus estudos que a atração de fosfato pela superfície do lodo carregada positivamente é seu principal mecanismo de adsorção (BABATUNDE et al., 2009). Contudo, os valores negativos encontrados nesta pesquisa para o potencial zeta e o fato de que, para um mesmo pH, o potencial zeta do lodo manteve-se basicamente o mesmo com ou sem adsorção de fósforo (Figura 1) indicam que outros mecanismos de adsorção podem ser mais significativos, como a formação de complexos na superfície do lodo entre hidróxidos e o fósforo.

Na Figura 2 é apresentado o mecanismo de adsorção que ocorre através da troca de ligantes: as hidroxilas superficiais que recobrem a superfície dos óxidos reagem com o fosfato e formam uma ligação covalente, liberando íons hidroxila.

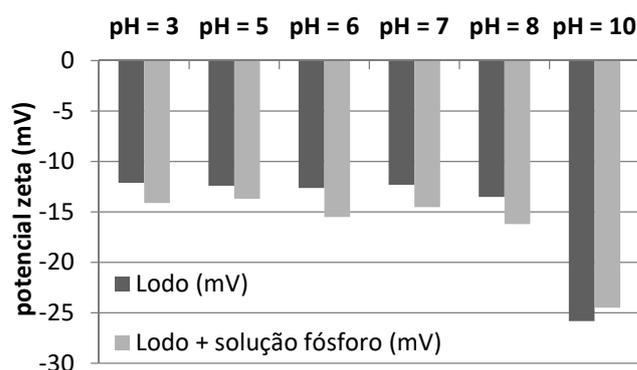
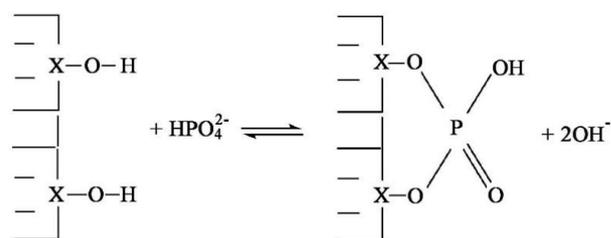


Figura 1 – Potencial zeta do lodo dissolvido em água e em solução de fósforo para diferentes pHs



Fonte: Stumm (1992)

Figura 2 – Mecanismo de adsorção por formação de complexos superficiais, no qual X representa Fe

### 3.2. Isotermas de adsorção

Para avaliar os resultados dos ensaios de adsorção, foram utilizados os modelos de Freundlich e Langmuir. Os coeficientes obtidos para os quatro distintos valores de pH iniciais investigados são apresentados na Tabela 2

Tabela 2 - Modelos de isotermas de adsorção e seus correspondentes coeficientes

Modelo	Parâmetro	pH			
		3.9	6	6.9	9
Langmuir	$Q_0$ (mg.g <sup>-1</sup> )	4,76	2,32	1,49	1,44
	$b$ (L.mg <sup>-1</sup> )	0,49	1,42	2,79	3,10
	$R^2$	0,978	0,994	0,927	0,977
Freundlich	$K_f$ (L.g <sup>-1</sup> )	1,661	1,153	0,900	0,942
	$1/n$	0,46	0,41	0,36	0,28
	$R^2$	0,995	0,996	0,948	0,985

$Q_0$ ,  $b$  representam, respectivamente, o coeficiente de máxima capacidade de adsorção de Langmuir (mg.g<sup>-1</sup>) e a constante de adsorção (L.mg<sup>-1</sup>).  $K_f$  e  $1/n$  são o coeficiente de Freundlich e o fator de heterogeneidade, respectivamente. A massa de fosfato adsorvida por massa de lodo no equilíbrio é representada por  $q_e$  e  $C_e$  é a concentração de equilíbrio de fósforo na solução.

Os dados apresentados na Tabela 2, mostram que a capacidade de adsorção diminuiu com um aumento no pH de 3,9 para 9,0, indicando que o processo de adsorção é mais favorecido sob condições ácidas. Uma capacidade máxima de adsorção de 4,76 mg P.g<sup>-1</sup> foi obtida em pH 3,9, aproximadamente três vezes o valor obtido no pH 9,0. Comportamentos similares foram reportados por (Babatunde et al, 2009; Song et al, 2011)

Song (2011) verificou uma capacidade máxima de adsorção<sup>1</sup> de 8,3 mg P.g<sup>-1</sup>, em pH = 5,5.

Na Tabela 2, também pode ser visto que o coeficiente de  $K_f$  de Freundlich diminuiu com o aumento do pH de 3,9 para 9,0. Esse coeficiente está relacionado à afinidade do lodo férrico pelo

fosfato. Assim, o maior valor de  $K_f$  obtido em pH mais baixo sugere que, sob condições ácidas, as forças de ligação de fosfato no lodo férrico são mais fortes. O valor de  $n$ , que foi maior que 1 em todos os casos, também indica que a adsorção de P pode ser descrita como favorável.

## 4. CONCLUSÕES

O lodo férrico possui capacidade de adsorção significativa. O principal mecanismo de adsorção identificado ocorre através da troca de ligantes.

Os experimentos de adsorção mostraram que a remoção de fosfato é influenciada pela dosagem de lodo e favorecida em condições ácidas. Os modelos de Langmuir e Freundlich foram capazes de representar satisfatoriamente o equilíbrio de adsorção. A capacidade máxima de adsorção variou de 1,44 mg P.g<sup>-1</sup> a 4,76 mg P.g<sup>-1</sup>. Contudo, o lodo estudado apresentou menor capacidade de adsorção em relação aos valores reportados na literatura, o que pode estar associado à aplicação de polímeros no processo de desaguamento, além de questões associadas à idade do lodo.

O lodo férrico mostra-se um promissor adsorvente para recuperação do fósforo presente nos esgotos e sua avaliação como um potencial material de preenchimento de *wetlands* construídos foi realizada em Chaves et al. (2019)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda equipe de operação da ETA Cubatão que gentilmente nos ofereceu o lodo.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, T.; AHMAD, K.; AHAD, A.; ALAM, M. Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. *J. Env. Manag.*, 182, 606 – 611. 2016a. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.010>
- AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M.. Sustainable management of water treatment sludge through 3 'R' concept. *J. of Clean. Prod.*, 124, 1 – 13. 2016b <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.073>

<sup>1</sup> capacidade máxima de adsorção originalmente apresentada em termos de mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> . L<sup>-1</sup>



APHA, AWWA e IWA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23 ed.

BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q.; BURKE, A. M.; MORRIS, M. A.; HANRAHAN, J. P. Characterization of aluminium-based water treatment residual for potential phosphorus removal in engineered wetlands. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 2830 – 2836, 2009.

Chaves, V. T., Morita, D. M., Chao, I. R. S., & Contrera, R. C. (2019). Phosphorus recovery from sewage with a sustainable and low-cost treatment system. **Water Science and Technology**, 80(5), 846-854.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Technical Resource Document: Batch-type procedures for estimating soil adsorption of chemicals**. Office of Solid Waste and Emergency Response, US Environmental Protection Agency, 1992.

MAKRIS, K. C.; HARRUS, W. G.; O'CONNOR, G. A.; OBREZA, T. A.; ELLIOT, H. A. Physicochemical properties related to long-term phosphorous retention by drinking water treatment residuals. **Env. Sci. Technol.** 39, 4280 – 4289. 2005

<https://doi.org/10.1021/es0480769>

SONG, X.; PAN, Y.; WU, Q. CHENG, Z., MA, W. Phosphate removal from aqueous solutions by adsorption using ferric sludge. **Desalination**, 280, p. 384 – 390. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.028>

STUMM, W. *et al.* **Chemistry of the solid-water interface: processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems**. John Wiley & Son Inc., 1992

## Possibilidades de aplicações do Lodo de ETA na Pavimentação

*Lucas Andrade e Souza, Universidade Federal de Lavras, lucasandradeesouza@gmail.com*

*Tarcísio Couto Carneiro Santos, Universidade Federal de Lavras, tarcisiocoutocsantos@gmail.com*

*André Geraldo Cornélio Ribeiro, Universidade Federal de Lavras, andreribeiro@ufla.br*

*Karina Salatiel do Nascimento, Centro Universitário de Viçosa, ksalatiel@gmail.com*

*Alex Cardoso Pereira, Universidade Federal de Viçosa, alexcpengenharia@gmail.com*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Concreto, Pavimentação, Solo.

### 1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento acelerado das cidades, em consonância com os modelos atuais de desenvolvimento das sociedades, há um aumento da demanda por água potável. Assim sendo, existe também um aumento na geração de resíduos sólidos e líquidos urbanos provenientes das estações de tratamento de água (ETAs) (ANDREOLI, 2001).

Segundo Babatunde e Zhao (2007), o resíduo mais importante gerado na ETA é o lodo. Esse resíduo apresenta baixo teor de sólidos e elevado teor de umidade volumétrica, comumente acima dos 95%, encontrando-se, portanto, em forma de suspensão aquosa (CORDEIRO, 1999). Sua composição caracteriza-se pela presença de água, de resíduos orgânicos e inorgânicos presentes na fonte de abastecimento, de partículas de solo e de subprodutos advindos dos processos físico-químicos e biológicos do tratamento da água para sua potabilização e representa, em volume, um valor entre 0,2 a 5% do volume da água tratada pela ETA (RICHTER, 2001).

No que concerne à disposição final do lodo de ETA's, podem ser citadas diferentes opções, as convencionais de acordo com Di Bernardo (2002) são o lançamento em lagoas, a disposição no solo ou em aterro sanitário e a incineração. Também existem métodos alternativos, como incorporação em tijolos, concreto, selagem em aterros sanitários (HOPPEN et al., 2005b) e uso na pavimentação.

Apesar do lodo ser classificado como resíduo sólido pela NBR 10004 (ABNT, 2004) e de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos deveria ter um descarte ambientalmente adequado, é cada vez mais difícil pensar em um destino ambientalmente adequado para tal, uma prática comum no Brasil é o seu lançamento em

corpos de água. Segundo Cordeiro (1993), no Brasil, são lançadas cerca de 2000 toneladas de lodo por dia, sem nenhum tipo de tratamento, causando um amplo impacto ambiental.

A busca por soluções tecnicamente e economicamente viáveis, bem como ambientalmente coerentes para o reaproveitamento do lodo de ETA, representa uma oportunidade de reduzir impactos ambientais associados a este resíduo. O lodo apresenta um elevado potencial de reaproveitamento, podendo ser reutilizado em diversas atividades. Seguindo essa tendência, o prezado trabalho tem como objetivo analisar a aplicabilidade do lodo de ETA na pavimentação.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. Base de Dados

Este estudo foi desenvolvido por meio de revisão bibliográfica, utilizando como objeto de estudo teses, dissertações e artigos científicos. Realizou-se um levantamento bibliográfico de publicações catalogadas em diferentes bases de dados, como Periódico Capes, Scielo, Google Acadêmico e Web Science, sem se preocupar com o ano de publicação.

#### 2.2. Estratégia de Busca

Considerou-se as buscas na língua portuguesa e também em inglês, as palavras-chaves escolhidas para busca foram: lodo na construção civil, utilização de lodo na pavimentação, lodo de eta como base e sub-base, sludge in civil construction e use of sludge in paving.

A priori, foram analisados o título e o resumo dos artigos, aqueles que não se encaixavam no tema buscado foram rejeitados. Em casos que o título e



o resumo não foram suficientes, consultou-se o texto do artigo para confirmar a sua utilização.

### 2.3. Análises e Comparação

As produções selecionadas foram lidas, revisadas e separadas em diferentes grupos de acordo com o seu tema; lodo em base, sub-base, reforço de subleito e lodo em revestimento asfáltico.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Aplicabilidade do Lodo de ETA na Pavimentação

A pavimentação é uma atividade que utiliza grandes quantidades de solo em camadas de reforço de subleito, sub-base e/ou base de pavimentos. Entretanto, os solos naturais, podem não oferecer propriedades apropriadas para suportar as cargas aplicadas ao pavimento para que ele atenda as condições de projeto (MAKUSA, 2013; SANTOS, 2012), sendo assim, se faz necessário a correção do solo, para que o mesmo satisfaça os requisitos de resistência requeridos no projeto. Uma das técnicas utilizadas para melhorar as propriedades do solo, chama-se: estabilização do solo.

Bastante difundida atualmente, a estabilização dos solos acarreta na alteração das propriedades e melhoria nas características do solo para posterior aplicação na engenharia (COELHO *et al.* 2015).

Segundo Costa (2011) o lodo de ETA, pode ser utilizado para estabilizar e/ou melhorar o solo, portanto, pode ser incorporado ao material utilizado em sub-bases e bases de pavimentos, o que resultaria na melhoria das características e propriedades destas camadas. As camadas de base e sub-base são constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, em geral sem adição de agentes cimentantes e geralmente submetidas a esforços de compressão. (NAZIR *et al.*, 2020).

Lucena (2016) analisou a viabilidade de utilizar o lodo de estação de tratamento de água e esgoto em obras de pavimentação. A priori, foi realizado uma caracterização físico-química do lodo e após o mesmo foi misturado em diferentes percentagens com amostras de solo, buscando a estabilização

deste solo. Adicionou-se 5%, 10%, 15% e 20% de lodo em relação ao peso total. Analisou-se separadamente o lodo advindo de estações de tratamento de água (ETAs) e de estações de tratamento de esgoto (ETEs). As amostras foram submetidas a testes mecânicos como; CBR (California Bearing Ratio), RM (módulo de resiliência) e teste de compactação. Para o lodo de ETA, em relação aos testes mecânicos, a amostra com 20% apresentou os melhores resultados, podendo ser utilizado na sub-base e base de pavimentos de tráfego intermediário.

Em um estudo análogo, Lucena *et al.* (2014a) incorporaram lodo de decantador de ETA, após adensamento e desidratação, sendo que o teor de umidade final do resíduo era de 56%. Cal hidratada (CH), cimento Portland (CP) e emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta foram utilizados como aditivos na estabilização da mistura solo-lodo (1, 2, 3 e 4% de adição), sendo que 20% da mistura correspondia ao lodo. Ensaio indicaram que, à medida que o percentual de CH e CP aumentava, havia também incremento no calor de CBR (*California Bearing Ratio*). A adição de 4% de CH à mistura propiciou valor de CBR superior a 80%, indicando possibilidade de utilização da mistura mesmo para situações de tráfego intenso (DNIT, 2004).

Coelho *et al.* (2015) também analisaram a viabilidade técnica da mistura de solo com lodo de ETA para uso como sub-base, base e reforço de subleito de pavimentos de estradas. Utilizaram dois tipos diferentes de solo, um solo argiloso e um arenoso. Foram analisadas amostras de misturas de solo-lodo, solo-lodo-cimento e solo-cimento. Para o solo argiloso, o traço utilizado foi 1:1 na produção de amostras de solo-lodo, amostras com adição de 10% de cimento (solo-lodo-cimento) e amostras somente com adição de 10% cimento (solo-cimento). As mesmas amostras foram produzidas com o solo arenoso, porém com traço de 1: 0,250 de solo-lodo. Todas as amostras foram submetidas a ensaios de resistência a compressão e índice de suporte Califórnia (ISC). Concluiu-se que as misturas dos dois solos com lodo foram aprovadas para uso na camada de subleito de



pavimentos. Para a utilização como base de pavimentos somente foi aprovada a mistura de solo arenoso com 10% de cimento.

Estudos acerca da incorporação de lodos na pavimentação, independente da origem do subproduto, têm sido incentivados sobretudo pelos grandes volumes de materiais envolvidos em tais obras (LUCENA et al., 2016; NAZIR et al., 2020). A incorporação de lodo tem sido relatada tanto no revestimento asfáltico (INGUNZA; JÚNIOR; MEDEIROS, 2013; TENZA-ABRIL; SAVAL; CUENCA, 2015) quanto nas demais camadas da seção do pavimento (subleito, reforço do subleito, sub-base e base) (LUCENA et al., 2014a, 2014b).

## 4. CONCLUSÕES

Com os estudos até aqui desenvolvidos, é possível concluir que a aplicação de lodo de ETA é bastante vantajosa e promissora. Os diferentes trabalhos apresentados neste artigo demonstraram que o lodo, um subproduto oriundo de estação de tratamento de água pode ser satisfatoriamente empregado na pavimentação, naturalmente analisando-se previamente os percentuais de lodo apropriados para cada aplicação. Conclui-se também, de acordo com os estudos consultados, que a aplicação destes resíduos nas camadas da seção; base, sub-base e reforço de subleito, permite maior percentual de incorporação de lodo. Essas soluções viabilizam o reaproveitamento desse resíduo, dando a ele uma destinação segura e adequada.

## REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. Projeto PROSAB, seção 2 Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 10.004: **Resíduos sólidos – Classificação**, Rio de Janeiro, RJ, 71p.
- BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. **Constructive approaches toward water treatment Works sludge management: an international review of beneficial reuses**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v.37, n.2, p.129-164, 2007.
- COELHO, R. V. et al. **Use of sludge of water treatment plant in paving roads**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 10, p. 11–22, 2015.
- CORDEIRO, J.S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: REALI, M. A. P. (Ed.). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estação de tratamento de água**. 1ra. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 1-19.
- DNIT. **Pavimentação – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico – Especificação de serviço**. 2004.
- DI BERNARDO, L., DI BERNARDO, A., CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. **RiMa**. São Carlos – SP, 2002.
- HOPPEN, C.; PORTELLA, K.; ANDREOLI, C. V.; SALES, A.; JOUKOSKI, A. **Estudo de dosagem para incorporação do lodo de ETA em matriz de concreto, como forma de disposição final**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, MS. 2005b.
- INGUNZA, M. DEL P. D.; JÚNIOR, O. F. DOS S.; MEDEIROS, S. A. **Sewage sludge as raw-material in asphalt mixtures**. Advanced Materials Research, v. 664, p. 638–643, 2013.
- CORDEIRO, J.S. (1993) **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 342 p.
- LUCENA, L. C. DE F. L. et al. **Use of wastewater sludge for base and subbase of road pavements**. Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 33, p. 210–219, 2014a.
- LUCENA, L. C. DE F. L. et al. **Potential uses of sewage sludge in highway construction**. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 26, n. 9, p. 1–7, 2014b.
- LUCENA, L. C. et al. **Characterization and evaluation of the potential use of sludge from STP and WTP in paving**. Engenharia Agrícola, v. 36, n. 1, p. 166–178, 2016.
- MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review**. Sweden: Lulea University of Technology, 2013.
- NAZIR, A. K. et al. **Safe and economic disposal of water treatment residuals by reusing it as a substitution layer in roads construction** (spectroscopic and geotechnical study). Environmental Science and Pollution Research, v. 27, n. 24, p. 30490–30501, 2020.



- RICHTER, C. A., **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. 1a ed. 4a reimpressão, São Paulo, Edgard Blucher Ltda., 2001/2012.
- SANTOS, M. N. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica em Matrizes de Terra**. PUC – Relatório de iniciação científica, Rio de Janeiro, 2012.
- TENZA-ABRIL, A. J.; SAVAL, J. M.; CUENCA, A. Using sewage-sludge ash as filler in bituminous mixes. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 27, n. 4, 2015.
- COELHO, RODRIGO VAZ; TAHIRA, FERNANDO SHIGUEU; FERNANDES, FERNANDO; FONTENELE, HELIANA BARBOSA; TEIXEIRA, RAQUEL SOUZA. **USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 10, p. 11-22, 2015.
- COSTA, A. J., **Análise de Viabilidade da Utilização de Lodo de ETA Coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) Composto com Areia como Agregado Miúdo em Concreto para Recomposição de Calçadas – Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP**. Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, SP, Brasil, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12956. Geotêxteis e produtos correlatos – Determinação da abertura de filtração característica**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12956. Geotêxteis e produtos correlatos – Determinação da abertura de filtração característica**. Rio de Janeiro, 2013.

## REMOÇÃO DE CORANTE REATIVO APLICANDO LODO DE ETA COMO ADSORVENTE

*BORBA, A. L. A. – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Graduada em Engenharia Ambiental. ananda.borba@unesp.br*

*FREIRE, R. - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Docente do Departamento de Química e Bioquímica. rosane.freire@unesp.br*

*RIBEIRO, V. A. S. – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Docente do Departamento de Engenharia Têxtil. valquiria@utfpr.edu.br*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Adsorção, Usos Benéficos, Tratamento de Efluentes.

### 1. INTRODUÇÃO

A busca por recursos que permitam remover a cor da água tem se mostrado desafiadora aos gestores de diversos setores, sobretudo, aos de indústrias têxteis, devido à baixa biodegradabilidade dos corantes utilizados no beneficiamento de tecidos (VASQUES et al., 2011). Quando ineficiente o tratamento, o lançamento dessas águas em corpos receptores pode causar mortalidade de organismos e apresentar potencial carcinogênico a mamíferos (FERNANDES & SALVADORI, 2016), em função da composição química dos corantes e pela transformação dos mesmos em substâncias ainda mais tóxicas. (VACCHI et al. 2016)

Entre as possibilidades técnicas e tecnológicas, a adsorção tem se mostrado vantajosa e mais efetiva (TONIOLLO et al., 2015). Este fenômeno é descrito por Nascimento et al. (2014) como um processo de transferência de massa de uma fase fluida (adsorvato) para superfície de material sólido (adsorvente). Para reter compostos de interesse podem ser utilizados os carvões ativados, de origem vegetal ou elementos de origem mineral. (FANGMEIER & HOEHNE, 2012)

Considerando o grande volume de efluente colorido resultante das etapas da cadeia têxtil, se fazem necessárias quantidades proporcionais de adsorventes a serem empregados no tratamento. Para tanto, uma opção promissora de precursor de material adsorvente é o lodo de Estação de

Tratamento de Água (ETA). Trata-se de um resíduo gerado em quantidades abundantes nas ETA's e que, em grande parte delas, acaba por tornar-se um passivo ambiental pelo lançamento sem qualquer tratamento em cursos d'água superficiais (OLINGER, 2002).

Oda (2017) justifica a utilização de lodo para tais fins pela viabilidade econômica e Omoto (2009), pelas características físico-químicas em sua composição. Dentre elas, há a presença de óxidos de alumínio, ferro e silício. O emprego deste material como adsorvente foi explorado por Xu et al. (2014), para remoção de contaminantes em meio aquoso, atestando o potencial do lodo no tratamento de águas residuárias.

### 2. OBJETIVOS

O presente trabalho buscou modificar a estrutura do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Água a fim de analisar seu comportamento como material adsorvente, avaliando-se o desempenho deste produto na remoção de corante (Azul Reativo) de efluentes sintéticos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Estação de Tratamento de Água (ETA) que forneceu o lodo para execução do presente estudo opera em ciclo convencional e recebe as águas captadas de dois mananciais superficiais pertencentes à Sub-Bacia do Rio do Peixe. No tratamento, é empregado o coagulante policloreto

de alumínio (PAC) e um polieletrólito não iônico como auxiliar de coagulação.

As amostras de lodo de ETA foram inicialmente desaguadas em leito gravitacional (tecido), à sombra. A umidade residual foi removida em estufa, à 100°C. Após, o material foi destorroado, moído e uniformizado em relação ao tamanho dos grãos em peneira (<355 µm). O produto resultante dessas etapas foi denominado LETA. A partir do LETA, dois materiais adsorventes foram preparados por diferentes processos de ativação: física (temperatura) – LsA - e físico-química (temperatura a impregnação química) - LA.

Para o primeiro adsorvente, LsA, o LETA foi calcinado, a 550°C, por 60 minutos. A temperatura de calcinação foi determinada em ensaio termogravimétrico prévio. Após o resfriamento, o material foi lavado com água destilada, para remoção de sujidades, e seco em estufa (100°C) até verificado ausência de umidade. Para o segundo adsorvente, LA, o LETA também foi calcinado (550° C, 60 minutos) e, após frio, foi imerso em solução de acetato de Sódio, a 1,5%, e submetido a agitação mecânica por 30 minutos. Decorrido o tempo de contato, o material passou limpeza com solução de ácido clorídrico (0,5%) e água destilada para remoção de impurezas e sujidades. O produto foi seco em estufa (100°C) até verificado ausência de umidade. LsA e LA foram caracterizados quanto superfície por meio do potencial de carga zero (pH-PCZ), conforme metodologia desenvolvida por Regalbutto e Robles (2004).

Quanto ao efluente sintético, inicialmente foi feito ensaio de varredura ao longo do espectro UV-Visível para verificar bandas de maior absorção do corante azul reativo em diferentes soluções (0 a 100 mg.L<sup>-1</sup>) e estabelecida uma curva de calibração. Para os ensaios, foram preparados seis efluentes sintéticos (0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 20,0 e 30,0 mg.L<sup>-1</sup>), em pH estabelecido pelo pH-PCZ e em temperatura ambiente (23°C ±3°C).

O tratamento foi avaliado em termos de eficiência de remoção do corante reativo. Características do fenômeno de transferência de

massa foram obtidas por estudo cinético (em intervalo de 5 até 360 minutos) e levantamento de isotermas no tempo de equilíbrio. Modelos clássicos foram aplicados para ajustes aos dados experimentais. Os ensaios foram realizados em bateladas individuais em relação a concentração do efluente e em duplicata.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização do Adsorvente e Adsorvato.

Para o LsA, o pH-PCz, se manteve constante em pH 5,6; para o LA, em pH 5,4. Nesses valores, a superfície do adsorvente possui a mesma quantidade de cargas positivas e negativas, favorecendo a adsorção de cátions e ânions. Em prática, foi investigado o potencial de adsorção em dois valores distintos de pH (5,5 e 7,5).

Quanto aos ensaios de varredura ao longo do espectro uv-vis, as maiores respostas de absorção ocorreram na banda 620 nm.

### 4.2. Eficiência de Remoção, Cinética, Isotermas de Adsorção.

O tratamento de efluente contendo o corante azul reativo aplicando lodo de ETA ativado como adsorvente se mostrou interessante quanto a taxa de eficiência de remoção obtida (100%), principalmente em baixas concentrações (< 1,0 mg.L<sup>-1</sup>). O fenômeno se mostrou dependente do tipo de adsorvente e do pH de tratamento. Para o LsA, a taxa de adsorção máxima (q<sub>max</sub>) foi na ordem de 0,62 mg.g<sup>-1</sup> nos dois pH de trabalho. Para o LA, em pH 5,5 foi obtido q<sub>max</sub> = 0,75 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto que, para pH 7,5, q<sub>max</sub> = 0,17 mg.g<sup>-1</sup>. De fato, a impregnação do acetato de sódio na matriz de lodo calcinado não se mostrou favorável para a adsorção do azul reativo em termos de capacidade de adsorção.

O equilíbrio cinético no adsorvente LsA, em ambos pH, ocorreu aos 240 minutos, com taxa de adsorção (q) ≈ 0,60 mg.g<sup>-1</sup>. Para o LA, o equilíbrio cinético foi alcançado aos 120 minutos (q = 0,75 mg.g<sup>-1</sup>) em pH 5,5. Os dados experimentais se

ajustaram ao modelo de pseudo-segunda ordem (Tabela 1) para ambos adsorventes em pH 7,5. Isso indica que a velocidade adsortiva é mais dependente da capacidade de adsorção do material adsorvente que da quantidade de íons disponível no meio líquido (AHMAD et al. 2005). O modelo prevê uma maior tendência à quimiossorção como mecanismo atuante (MIMURA et al., 2010), isto é, prevê a partilha/troca de elétrons entre as moléculas do corante e os sítios ativos do adsorvente.

Tabela 1. Parâmetros obtidos no ajuste aos modelos não lineares de cinética de adsorção.

	Lagergren		Ho-McKay	
	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>	k <sub>2</sub>
<b>LsA</b>				
pH 5,5	-0,522	0,065	0,186	0,129
pH 7,5	0,529	0,053	0,893	0,1715
<b>LA</b>				
pH 5,5	0,612	0,081	0,809	0,212
pH 7,5	0,958	0,036	0,893	0,171

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação (adimensional); k<sub>1</sub>: constante da taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem (g.mg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>); k<sub>2</sub>: constante da taxa de adsorção de pseudo-segunda ordem (g.mg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>).

Os ensaios de isotermas para o adsorvente LsA indicaram que houve bom ajuste ao modelo de Langmuir e Freundlich, com R<sup>2</sup> = 0,997 e 0,998, respectivamente. Esse comportamento pode indicar que a adsorção ocorre inicialmente em monocamada e que há sítios ativos com maior força de atração à molécula do corante. Na Tabela 2 é apresentado os valores das constantes, obtidas pelo ajuste não linear dos dados experimentais. O perfil gráfico apresentou concavidade voltada para baixo (Figura 1 e Figura 2), tipo L2 na classificação de Giles et al (1960). O comportamento é devido à diminuição da disponibilidade dos sítios ativos ao longo do fenômeno. Contudo, nas condições de ensaio, o equilíbrio não foi alcançado.

Tabela 2. Ajuste de modelos de isotermas de adsorção

	Langmuir	Freundlich
--	----------	------------

	Q <sub>MAX</sub>	K <sub>L</sub>	R <sup>2</sup>	1/n	K <sub>F</sub>	R <sup>2</sup>
LsA, pH 7,5	1,549	0,080	0,997	0,153	0,111	0,998
LA, pH 5,5	0,2456	0,576	0,710	0,095	0,080	0,694

Q<sub>MAX</sub>: capacidade máxima de adsorção (mg. g<sup>-1</sup>); K<sub>L</sub>: capacidade máxima de adsorção (mg.g<sup>-1</sup>); R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação (adimensional); 1/n: constante de heterogeneidade da superfície (adimensional); K<sub>F</sub>: constante de capacidade de adsorção de Freundlich (mg. L<sup>-1</sup>).

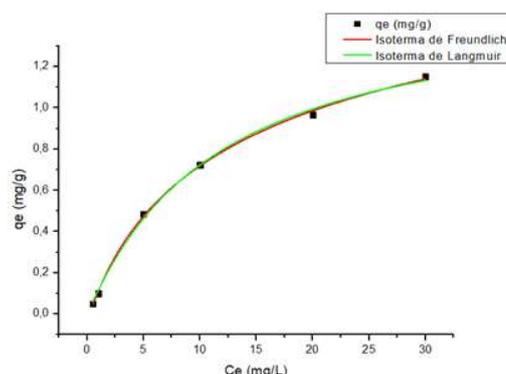


Figura 1. Isoterma de adsorção: LsA pH 7,5

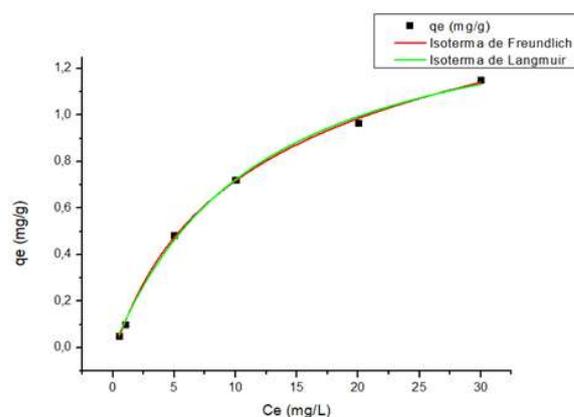


Figura 2. Isoterma de adsorção: LA pH 5,5

## 5. CONCLUSÃO

O LETA como precursor de material adsorvente mostrou-se interessante na remoção do corante azul reativo, especialmente em baixo valor de concentração da solução. Destaque para o LsA, nas condições de pH 7,5, apresentado o maior valor eficiência de remoção.

O estudo cinético e de isotermas de adsorção mostram tempo de equilíbrio máximo aos 240 minutos de ensaio. A retenção foi estabelecida por troca ou partilha de elétrons entre o corante reativo e a superfície do lodo ativado, ocupando os sítios ativos presentes.



## REFERÊNCIAS

- AHMAD, A. L.; SUMATHI, S.; HAMEED, B. H. Adsorption of residue oil from palm oil mill effluent using powder and flake chitosan: equilibrium and kinetic studies. **Water research**, 2005 v. 39, n. 12, p. 2483-2494.
- FANGMEIER, M.; HOEHNE, L. Avaliação De Carvão Ativado E De Sílica Como Adsorventes Para Amostras Com Corantes E Com Sódio. **Destques Acadêmicos**, v. 4, p.41-49, 2012.
- FERNANDES, F. H.; SALVADORI, D. M. Exposição à Corantes: O Perigo Toxigenético por Trás das Cores. In: **Corantes: Caracterização Química, Toxicológica, Métodos de Detecção e Tratamento** / Org: Maria V. Boldrin Zanoni, Hideko Yamanaka. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.
- GILES, C. H.; MACEWAN, T. H.; NAKHWA, S. N.; SMITH, D. 786. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. **Journal of the Chemical Society (Resumed)**, 1960, p. 3973-3993.
- MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. A.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$ . **Química Nova**. 2010, vol.33, n.6. pp.1279- 1284. ISSN 0100-4042
- NASCIMENTO, R.F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256p.
- ODA, T. Y. R. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado a partir de lodo biológico de indústrias têxtil e de papel**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.
- OLINGER, C. **Caracterização E Clarificação Por Sedimentação Da Água De Lavagem De Filtro Rápido De Uma Estação De Tratamento De Água**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.
- OMOTO, E. S. Avaliação do descarte de lodo da ETA diretamente na rede coletora de esgotos. In: I
- Encontro das Águas, 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SINTERCON, 2009.
- PARSEKIAN, M. P. S. **Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de águas de abastecimento completo em cidades de porte médio do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1998.
- REGALBUTO, J.R.; ROBLES, J. **The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation**. University of Illinois, Chicago, 2004.
- SILVA, P. O. **Métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil**. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2013. 39 f.: il. Monografia (Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, 2013.
- VACCHI, F. I.; ARTAL, M. C.; AZEVEDO, C. C. J.; SANTOS, A.; FRANCISCON, E.; UMBUZEIRO, G. A. Ecotoxicidade de Corantes para Organismos Aquáticos. In: **Corantes: Caracterização Química, Toxicológica, Métodos de Detecção e Tratamento** / Org: Maria V. Boldrin Zanoni, Hideko Yamanaka. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.
- VASQUES, A. R., SOUZA, S. M. A. G. U., WEISSENBERG, L., SOUZA, A. D., & VALLE, J. A. B. Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2011, v.16, n.3, pp.245 -252.
- XU, G.; YANG, X.; SPINOSA, L. Development of sludge-based adsorbents: Preparation, characterization, utilization and its feasibility assessment. **Journal of Environmental Management**. v.151, p. 221-232, 2015.

## USO DO LODO DA ETA UFV NA COMPOSIÇÃO DE MASSA CERÂMICA LÍQUIDA (BARBOTINA) DE GRÊS PARA CERÂMICA ARTÍSTICA

Vivian Ane Lopes Cabral, Universidade Federal de Viçosa (UFV), [ane.cabral@yahoo.com.br](mailto:ane.cabral@yahoo.com.br)  
Rafael Kopschitz Xavier Bastos, UFV, [rkxb@ufv.br](mailto:rkxb@ufv.br)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Barbotina, Cerâmica artística, Grês

### 1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento de lodo de ETA tem sido estudado em diversas aplicações, com destaque para os materiais de construção civil e, particularmente, a cerâmica vermelha. Isso pelo fato das massas argilosas utilizadas como matéria-prima serem, por natureza, heterogêneas e, por sua vez, dos lodos de ETA possuírem composição física, química e mineralógica semelhante às dos materiais utilizados em cerâmica (DIAS et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004; TARTARI, 2008; TEIXEIRA et al., 2011; SILVA et al., 2015). Por outro lado, a incorporação de lodo de ETA em matrizes cerâmicas, bem como em outras matrizes, pode levar a alterações importantes nas propriedades físicas e mecânicas do produto.

Os efeitos da incorporação de lodo de ETA em cerâmica, principalmente o aumento de porosidade e de incidência de “coração negro”<sup>1</sup> na peça, apontam para a necessidade de beneficiamento do lodo antes do uso. A forma de incorporação do resíduo também parece ser um desafio. Na maioria das pesquisas é feita a secagem completa do lodo antes da incorporação na matriz cerâmica, o que por si só já é um problema, devido à característica de difícil desaguamento do lodo de ETA conferida pelo coagulante químico utilizado no tratamento da água; além disso, a secagem promove a formação de torrões de lodo altamente estáveis e de difícil desagregação.

Apesar de existir um grande potencial a ser explorado, pouca atenção tem sido dada ao aproveitamento de lodo de ETA em cerâmica artística, ornamental ou utilitária. Uma vantagem,

comparativamente à cerâmica vermelha, seriam os requisitos de qualidade menos exigentes dos produtos de cerâmica artística. Outra vantagem seria o maior potencial em agregar valor ao resíduo como matéria-prima, pois, em geral, os artefatos artísticos (utilitários e ornamentais) apresentam maior valor de mercado.

É prática comum no setor da cerâmica branca (cerâmica de mesa, sanitária, artística, revestimentos, entre outras) a produção de peças por “colagem” em moldes de gesso. Nesse caso, é utilizada barbotina, que é uma suspensão de materiais cerâmicos em água suficientemente fluida para ser vertida (NORTON, 1973). Derrama-se a barbotina em moldes de gesso, que absorvem a água da barbotina por capilaridade enquanto as partículas sólidas vão se acomodando contra a superfície do molde, formando a peça.

Sob a hipótese de apresentar vantagens comparativas em relação a outros usos já bem explorados, no presente trabalho avaliou-se a incorporação do lodo da ETA UFV, após beneficiamento, na composição de barbotina destinada a produção de cerâmica artística de alta temperatura. A opção pela incorporação do resíduo à barbotina deve possibilitar a utilização do lodo líquido, evitando etapa de desaguamento ou de secagem de lodo, e favorecer a mistura dos ingredientes.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

#### 2.1. *Origem, coleta e preparação dos materiais*

A estação de tratamento de água da Universidade Federal de Viçosa (ETA UFV) trata de 13 a 15 L.s<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> Coração negro caracteriza-se por manchas negras ao longo da seção transversal da peça, que aparecem após a queima, e que podem comprometer qualidade técnica (resistência mecânica) e estética da cerâmica.

com períodos de operação médios diários de 12 horas, sendo empregado o tratamento em ciclo completo com coagulação com sulfato de alumínio. Na maior parte do tempo de operação da ETA a turbidez da água bruta apresenta valores reduzidos (média = 13,6 uT; mediana = 5,6uT), mesmo em períodos de chuvas.

Coletou-se amostra composta do lodo do decantador da estação, através de sistema de sifão com mangueira de 1". Como o lodo já estava armazenado no decantador há mais de 6 meses, o material coletado apresentou concentração de sólidos de 3 %, típica de lodo adensado.

O lodo coletado foi submetido ao tratamento químico – alcalinização com 10% de solução de hidróxido de sódio 1N – visando à remoção de matéria orgânica e de hidróxido de alumínio amorfo, e a defloculação. Após a aplicação da base, com um agitador mecânico foi feita a mistura da suspensão a 100 rpm por 20 minutos, com vistas ao favorecimento da reação de solubilização de alumínio e de matéria orgânica ocorresse. O lodo residual deste tratamento (com teor de sólidos de 6,1 %) foi utilizado nos estudos de mistura para a produção da barbotina de grês.

Os demais ingredientes da barbotina são aqueles convencionalmente empregados na produção da massa cerâmica, os quais foram adquiridos em pó e pronto para uso, da empresa Minasolo Comércio e Representações Ltda: caulim (MHY-325), argila São Simão (MSS-325), quartzo (MCQ-325) e feldspato potássico (MCK-325).

## 2.2. Planejamento experimental, preparação das misturas (barbotinas) e dos corpos de prova

O delineamento do experimento de mistura foi do tipo centroide-simplex para quatro componentes (lodo, argilas, quartzo e feldspato de potássio) e uma variável de processo (temperatura de sinterização) em dois níveis: 1000°C (nível baixo ou -1) e 1200°C (nível alto ou 1). O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), sem repetição, tendo sido gerado no *software* estatístico Minitab 16.

Os intervalos de proporções dos componentes foram adotados de acordo com faixas recomendadas na literatura para produção de barbotina para cerâmica branca (NORTON, 1973). No caso do lodo, o limite máximo foi adotado de maneira a não ultrapassar o teor de água da mistura (já que o lodo entrou na mistura com umidade de 94%); por sua vez, o limite inferior foi pensado para que este ingrediente mantivesse participação razoável na massa. Na Tabela 1 são apresentadas as composições resultantes do delineamento experimental, as quais foram avaliadas nas duas temperaturas de sinterização (1000°C e 1200°C), totalizando 30 combinações.

Tabela 1. Misturas do delineamento<sup>1</sup>

Lodo	Argilas <sup>2</sup>	Quartzo	Feldspato
0,40	0,40	0,20	0
0,15	0,65	0,20	0
0,15	0,40	0,45	0
0,15	0,40	0,20	0,25
0,28	0,53	0,20	0
0,28	0,40	0,33	0
0,28	0,40	0,20	0,13
0,15	0,53	0,33	0
0,15	0,53	0,20	0,13
0,15	0,40	0,33	0,13
0,23	0,48	0,28	0
0,23	0,48	0,20	0,08
0,23	0,40	0,28	0,08
0,15	0,48	0,28	0,08
0,21	0,46	0,26	0,06

<sup>(1)</sup>proporções em massa; <sup>(2)</sup>50% de argila São Simão e 50% de caulim.

Foram avaliadas três respostas de qualidade cerâmica: (i) resistência à flexão em três pontos (RF), conforme ASTM C674-13; (ii) absorção de água (AA), conforme ASTM C373-17, e (iii) retração linear total (RT).

Os corpos de prova (CPs) para os ensaios cerâmicos de qualidade foram confeccionados em moldes de gesso, com as seguintes dimensões: 120 x 20 x 10 mm. Com cada barbotina foram produzidos pelo menos 10 CPs, sendo 7 para ensaios de RF e 3 para AA e RT.

## 2.3. Análise estatística do experimento e escolha da composição da massa

A significância estatística dos modelos foi avaliada pelo teste F da análise de variância (ANOVA), com  $\alpha$  de 0,05. A significância de cada termo do modelo ajustado foi avaliada pelo teste *t* de Student,

também com  $\alpha$  de 0,05. Verificou-se, graficamente, o atendimento às pressuposições dos testes estatísticos utilizando os resíduos *studentizados*, como indicam Myers, Montgomery e Anderson-Cook (2009).

Os gráficos de efeitos dos componentes (*responce trace plots*) foram gerados no *software* Minitab 16.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Experimento mistura-variável de processo

Na Figura 1 apresenta-se fotografia de alguns CPs após queima. Com esta imagem é possível verificar a cor de queima da cerâmica, que é função do estado de sinterização do corpo cerâmico (maturação).

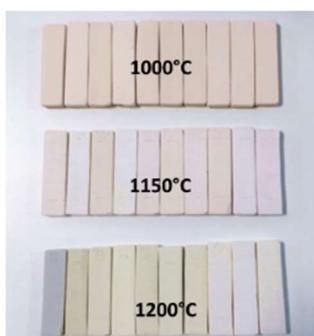


Figura 1. CPs sinterizados a diferentes temperaturas

Foi possível produzir cerâmica com todas as misturas (barbotinas) do delineamento, no entanto, com qualidades distintas entre si. Os modelos de mistura apresentaram bom ajuste aos dados experimentais e todos os pressupostos foram verificados, validando o emprego dos testes paramétricos.

Em todos os casos houve interação da temperatura com os componentes da mistura. Termos de segunda e terceira ordem apareçam nos modelos, porém com pequeno impacto sobre as respostas; os termos lineares interferiram em maior grau nas propriedades cerâmicas. Isso quer dizer que a proporção dos componentes individualmente, não a interação entre eles, foi o que determinou as respostas cerâmicas.

A seguir são apresentados gráficos de efeitos dos componentes sobre a resistência à flexão (Figura 2) e sobre a absorção de água da cerâmica (Figura 3) para a temperatura alta (1200°C). A retração linear

total das misturas ficou dentro do esperado para massa cerâmica grês, portanto não constituiu fator limitante e foi retirada da análise.

Nota-se que a alta temperatura o lodo e a argila praticamente não interferiram nas respostas, se comportando, assim, como componentes inativos. Esta “inatividade” do lodo pode ser associada à baixa contribuição de sólidos – mesmo com o máximo de incorporação tem-se menos de 4% de lodo no corpo cerâmico.

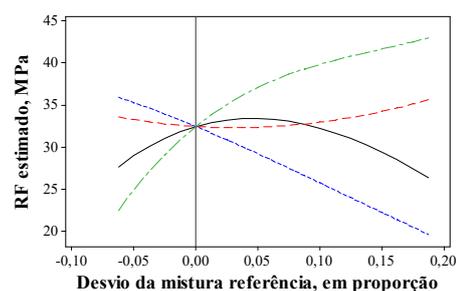


Figura 2. Gráfico de efeito dos componentes sobre RF a 1200°C: lodo (—), argilas (---), feldspato (---) e quartzo (---).

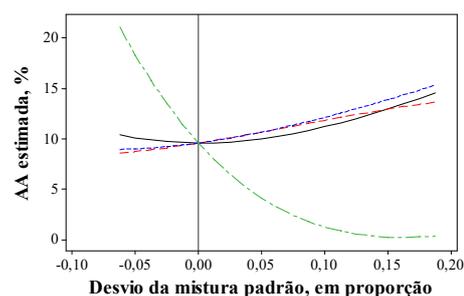


Figura 3. Gráfico de efeito dos componentes sobre AA a 1200°C: lodo (—), argilas (---), feldspato (---) e quartzo (---).

### 4. CONCLUSÕES

O lodo não interferiu nas respostas pós-queima, e pode ser incorporado a massa cerâmica no maior valor aqui estudado (40%), o que corresponde à contribuição de cerca de 4% de sólidos para o corpo cerâmico. O lodo substituiu a água, devido ao alto teor de umidade (94%), e o defloculante químico convencionalmente usado na produção da barbotina – devido ao sódio presente no lodo, residual do tratamento. Destaca-se que esta solução não envolve o desaguamento do lodo, etapa bastante onerosa no manejo destes resíduos.

### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES – Código de Financiamento 001.



## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C674-13. Standard Test Methods for Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials.** ASTM International, 2013, 4p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C373-17. Standard Test Methods for Determination of Water Absorption and Associated Properties by Vacuum Method for Pressed Ceramic Tiles and Glass Tiles and Boil Method for Extruded Ceramic Tiles and Non-tile Fired Ceramic Whiteware Products.** ASTM International, 2017, 6p.
- DIAS, L. M.; BATALIONE, G.; MORAIS, F. U.; SOBRINHO, J. F.; RIBEIRO, M. C.; LISBOA, M. S. Alternativa de destinação final do lodo de estação de tratamento de água - Fabricação de blocos cerâmicos. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 29º, 2004, San Juan. **Anais...** San Juan: AIDIS, 2004.
- MYERS, R.H.; MONTGOMERY, D.C.; ANDERSON-COOK, C.M. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments.** 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.
- NORTON, F. H. **Introdução à tecnologia cerâmica.** Tradução: Souza, Jefferson Vieira. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1973.
- OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 50, p.324-330, 2004.
- SILVA, E.M.; MORITA, D. M.; LIMA, A.C.M.; TEIXEIRA, L. G. Manufacturing ceramic bricks with polyaluminum chloride (PAC) sludge from a water treatment plant. **Water Sci. Technol.**, v. 71, n. 11, p. 1638-1645, 2015.
- TARTARI, R. **Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha.** Foz do Iguaçu, 2008. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2008.
- TEIXEIRA, S.R.; SANTOS, G.T.A.; SOUZA, A.E.; ALESSIO, P.; SOUZA, S.A.; SOUZA, N.R. The effect of incorporation of a Brazilian WTPs sludge on the properties of ceramic materials. **Applied Clay Science**, v. 53, p. 561–565, 2011.

## Estudo para viabilidade do uso de lodo de ETA na produção de mudas florestais

Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz, CEDAE, cleo.engenharia@gmail.com

Ana Silvia Pereira Santos, UERJ, ana.pereira@uerj.br

Elisabeth Ritter, UERJ, ritteruerj@gmail.com

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Mudanças florestais, Uso benéfico, Resíduos Sólidos

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente existem várias formas de se reutilizar ou de se reciclar o lodo de estação de tratamento de água (ETA). Entre elas, podem-se citar: utilização na construção civil para fabricação de cerâmica vermelha ou na incorporação de solo cimento (POZZOBON, LUCAS, MORA, 2013, RODRIGUES, PUGET, OLIVEIRA, 2009, ANDRADE et al, 2016), aplicação em solo para recomposição de área degradada (MOTTA et al, 2013, BITTENCOUT et al, 2012) e a utilização para produção de mudas (FIGUEIREDO NETO, 2011, ROCHA et al, 2014, AUGUSTO, 2016, CRUZ, 2018). O uso benéfico do lodo é uma prática cada vez mais recorrente nas companhias de saneamento, visto que além da diminuição do custo de destinação final do resíduo, as empresas atendem a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010) em relação à prioridade do gerenciamento dos resíduos sólidos.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi estudar a viabilidade do potencial de incorporação de lodo de ETA no substrato para produção de mudas florestais. Essa avaliação se deu em relação às seguintes características: i) químicas (pH, nutrientes e metais); ii) físicas (granulometria, teor de umidade e tempo de enchimento dos sacos); e iii) desenvolvimento das mudas (taxa de sobrevivência e Índice de Qualidade de Dikcson).

### 2. METODOLOGIA

O lodo utilizado no experimento foi oriundo de uma ETA que utiliza o sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) como coagulante. Foram utilizadas mudas da *Schinus terenbinthifolius*, comumente

conhecida como Aroeira Pimenteira; esta espécie, de acordo com Lorenzi (2008), possui um crescimento rápido e taxa de germinação maior que 50%. Outra espécie utilizada foi a *Pterocarpus violaceus*, conhecida como Aldrago, que possui um crescimento moderado e a taxa de germinação maior que 40% (LORENZI, 2008).

Foram analisados 6 substratos, denominados “traços”, compostos por diferentes proporções de lodo de ETA, lodo de ETE e solo, conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1: Porcentagem de insumos em cada traço.

	Lodo ETA	Lodo ETE	Solo
<b>T1</b>	0%	50%	50%
<b>T2</b>	100%	0%	0%
<b>T3</b>	75%	25%	0%
<b>T4</b>	50%	50%	0%
<b>T5</b>	25%	75%	0%
<b>T6</b>	0%	100%	0%

Para cada traço foram realizadas quatro repetições com oito amostras, dando um total de 384 amostras. Uma amostra de cada material que compõe o substrato foi coletada e encaminhada para análise das propriedades químicas: pH, nutrientes e metais. Foram analisados os macronutrientes: Potássio, Cálcio, Magnésio, Fósforo; e os micronutrientes: Ferro, Boro, Manganês, Zinco e Cobre, todos de grande relevância para o desenvolvimento das plantas. O elemento Alumínio também foi analisado. As metodologias utilizadas para a análise de pH foram baseadas na EMBRAPA (1997) e para a análise dos nutrientes e metais, foram baseadas na metodologia da USEPA (1994).

Uma amostra de cada traço foi coletada para serem analisadas as propriedades físicas: teor de umidade e granulometria, de acordo com NBR 6457/1986 e NBR 7181/1984. A trabalhabilidade também foi um parâmetro analisado, já que a dificuldade de enchimento pode prejudicar o tempo de operação de um viveiro devido à demora da execução do trabalho. Para avaliar a trabalhabilidade dos traços foi realizada uma comparação do tempo de enchimento dos sacos com o teor de umidade dos mesmos.

De junho a dezembro de 2017 foram realizadas seis medições com 21 dias de diferença entre elas, e analisada a taxa de sobrevivência das mudas. Para isso foi verificada a quantidade de mudas sobreviventes no experimento em relação à quantidade total de mudas analisadas.

O Índice da Qualidade de Dickson (IQD) foi analisado, já que é um bom indicador para a análise da qualidade das mudas. Este índice relaciona à altura da muda, o diâmetro do coleto, o peso da matéria seca da parte aérea e da parte da raiz (DICKSON, 1960). Ressalta-se que o experimento, para o cálculo do IQD, só pôde ser realizado com a espécie *Schinus terenbinthifolius* (Aroeira Pimenteira), já que acidentalmente o experimento foi desmontado antes da medição da outra espécie.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise química dos insumos (lodo de ETE, lodo de ETA e solo). Observou-se uma maior concentração dos elementos alumínio e ferro em todos os insumos, com grande destaque no lodo da ETA, que possui concentração dez e sete vezes maior que os demais, respectivamente. Já o lodo de ETE obteve maiores concentrações em relação aos macronutrientes e micronutrientes essenciais para o crescimento das mudas, destacando-se nos elementos Ca, P, Zn e Cu. Os elementos K, Mg e Mn apresentaram valores superiores no lodo de ETA. Dessa forma se observa a importância que o lodo de ETE possui na composição do traço para melhor desenvolvimento das mudas.

Tabela 2: Resultado das análises químicas dos insumos.

Parâmetro	LODO ETE mg/kg	LODO ETA mg/kg	SOLO mg/kg
Potássio (K)	1.065	2.921	278
Cálcio (Ca)	6.333	734	541
Magnésio (Mg)	2.090	2.402	<2,5
Ferro (Fe)	6.091	49.247	7.763
Alumínio (Al)	6.799	69.976	10.091
Boro (B)	<0,395	<0,395	<0,395
Zinco (Zn)	173	84,1	48,2
Manganês (Mn)	65,2	2.570	28,8
Cobre (Cu)	56,0	18,4	14,7
Fósforo (P)	2.201	1.304	438
pH	5,1	5,0	3,6

Os resultados do ensaio de granulometria estão apresentados de forma esquemática na figura 1. Não se observou uma variação gradual dos componentes, de acordo com a diminuição da quantidade de lodo de ETA no traço, e nem um percentual elevado de finos (argila e silte). Os traços T1, T5 e T6 apresentaram as melhores homogeneidades granulométricas em relação aos outros traços. Ter uma amostra homogênea de solo é benéfico para o desenvolvimento das mudas, visto que solos mais arenosos tendem a lixiviar os nutrientes e solos argilosos tendem a adsorver os nutrientes.

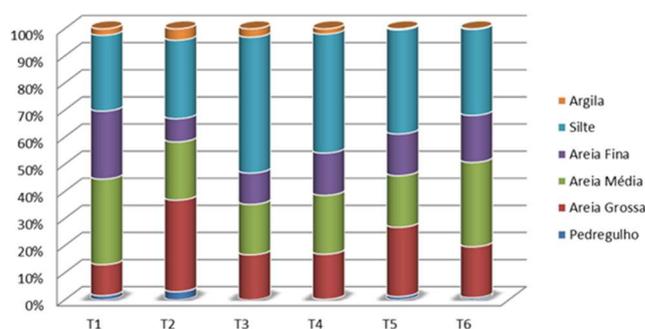


Figura 1: Quantidade de material mineral presente em cada traço de acordo com o ensaio de granulometria.



Tabela 3: Relação entre o tempo de enchimento e o teor de umidade dos traços.

Traço	Tempo Médio Enchimento [seg]	Teor de Umidade [%]
T1	4	38,88
T2	31	224,03
T3	20	163,26
T4	15	150,97
T5	8	128,66
T6	6	101,93

A tabela 3 apresenta relação entre o tempo de enchimento e o teor de umidade. Verifica-se que quanto maior a quantidade de lodo de ETA no substrato maior o teor de umidade dos traços. Em relação à trabalhabilidade, verifica-se que quanto maior o teor de umidade maior o tempo de enchimento dos sacos.



Figura 2: Taxa de sobrevivência das mudas.

A figura 2 apresenta a taxa de sobrevivência das mudas. O experimento demonstrou que para todos os traços, a taxa de sobrevivência foi acima de 80% para a aroeira. Destaque deve ser dado ao traço T5 que, entre aqueles que apresentam lodo de ETA em sua composição, apresentou a maior taxa de sobrevivência das duas espécies.

O Índice de Qualidade de Dickson, está apresentado na figura 3. Os traços T1, T5 e T6 são os que apresentaram maiores valores para o IQD, sendo o T5 com melhor resultado. Ao realizar essa análise, observou-se que a raiz de T5 era uma raiz mais robusta e mais ramificada do que as demais. Raízes assim, provavelmente, absorvem melhor os nutrientes do solo.

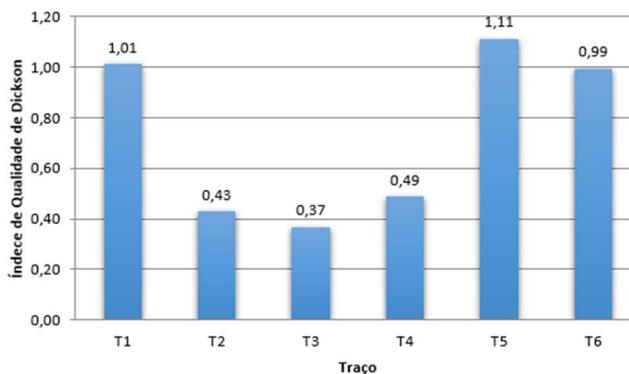


Figura 3: Índice de Qualidade de Dickson dos traços.

Verificou-se que ao longo do experimento o traço T5 se destacou em praticamente todas as avaliações apresentadas, se mostrando um bom substrato para o crescimento das espécies estudadas.

## 4. CONCLUSÕES

A análise química dos insumos demonstrou que um substrato composto somente com o lodo de ETA não possui nutrientes suficientes para o desenvolvimento das espécies estudadas, ressaltando assim a necessidade da composição com o lodo de ETE.

O estudo indicou que o traço T5, substrato composto por 25% de lodo de ETA e 75% de ETE, apresentou melhor desempenho entre os traços analisados. A alta taxa de sobrevivência das mudas de Aroeira Pimenteira e Aldrigo, a boa trabalhabilidade indicada pelo teor de umidade e o tempo de enchimento dos sacos e o Índice de Qualidade de Dickson alto para o traço T5 indicam uma adequabilidade desta composição para o desenvolvimento das duas espécies estudadas.

A pesquisa indicou uma boa viabilidade do uso do lodo de ETA, em composição com o lodo de ETE, para a produção de mudas florestais, contribuindo com uma possibilidade de gestão do lodo gerado em estações de tratamento de água, que até os dias atuais ainda apresenta deficiência.



## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Clarice de et al. **Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais**. Matéria (rio de janeiro), [s.l.], v. 21, n.2, p.321-329, jun. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160002.0031>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. 2 ed. [s.i]: ABNT, 1986. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Solo – Análise granulométrica**. 2 ed. [s.i]: ABNT, 1984. 12 p.
- AUGUSTO, J. **Lodo de estação de tratamento de água na composição de substratos para produção de mudas de plantas da Caatinga**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental., Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.
- BITTENCOURT, Simone et al. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 17, n. 3, p.315-324, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522012000300008>.
- BRASIL. Constituição (2010). Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; o altera a Lei n 9.605, de de 12 fevereiro de 1998; e dá outras 110 providências**. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, BR: Diário Oficial da União, 03 ago. 2010.
- CRUZ, Cleonice Lucia Barbosa Mattos da. **Estudo sobre a viabilidade de incorporação do lodo de estação de tratamento de água no substrato para produção de espécies nativas da Mata Atlântica (Brasil)**. 2018. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- DICKSON, Alexandre; LEAF, Albert L.; HOSNER, John F. **Uality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries**. [s.i]: The Forestry Chronicle, 1960.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solos**: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- FIGUEIREDO NETO, Abner. **Utilização de lodo de estação de tratamento de água na produção de mudas de árvores com ocorrência no cerrado**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Meio Ambiente. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- LIMA, J. V. **Incorporação de Lodo de Decantador na Fabricação de Blocos Cerâmicos**. In: ENCONTRO TÉCNICO DE EMPREGADOS DE NÍVEL UNIVERSITÁRIO DA CEDAE - UNICEDAE, 2014, Rio de Janeiro. Resumo Estendido. Rio de Janeiro: Cedae, 2014. p. 1 - 8.
- MOTTA, Antônio Carlos Vargas et al. **Disposição de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Área Degradada**. In: CARNEIRO, Charles; ANDREOLI, Cleverson V.. Lodo de Estação de Tratamento de Água: Gestão e Perspectiva Tecnológica. Curitiba: Sanepar, Thinks Criative, 2013. Cap. 11. p. 442-480.
- POZZOBON, João Carlos; LUCAS, Juiana Fenner Ruas; MORA, Nora Díaz. **Uso do Lodo de ETA na Fabricação de Cerâmica Artística**. In: CARNEIRO, Charles; ANDREOLI, Cleverson V.. Lodo de Estação de Tratamento de Água: Gestão e Perspectiva Tecnológica. Curitiba: Sanepar, Thinks Criative, 2013. Cap. 13. p. 502-538.
- ROCHA, Damião Noel et al. **Utilização do lodo da estação de tratamento de água na produção de mudas de eucalipto**. Revista Agrogeoambiental, [s.l.], v. 7, n. 3, p.11-20, 30 out. 2014. IFSULDEMINAS (Instituto Federal do Sul de Minas). <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v7n32015617>
- RODRIGUES, M.s.; PUGET, F. P.; OLIVEIRA, M. D.. **Avaliação da viabilidade de utilizar lodo de ETA na produção de tijolo solo-cimento com meio de destinação final para ETA Carapina - CESAN-ES**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.. Recife: Abes, 2009. p. 1 - 1.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. METHOD 200.7: **Determination of Metals and Trace Elements in Water and Waste by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry**. Revision 4.4 ed. Cincinnati: Emmc - Methods Work Group, 1994. 59 p.

## ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA DE ALTERNATIVAS DE PROCESSOS DE DESIDRATAÇÃO DE LODOS DE ETA

*Thais Braga Frota, Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS, thais\_bragafrota@yahoo.com.br*

*Gino Roberto Gehling, Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS, grgehling@gmail.com*

*Salatiel Wohlmuth da Silva, Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS, salatiel.silva@ufrgs.br*

**Palavras-Chave:** Lodo, ETA, Desidratação, Modelagem de custos

### 1. INTRODUÇÃO

Durante o processo de tratamento de água, são gerados resíduos, também chamados de lodos. De maneira geral, são constituídos de água e sólidos suspensos, que estavam originalmente presentes na água bruta, acrescidos dos produtos resultantes dos reagentes aplicados nos processos unitários (Di Bernardo et al., 2012). Por ser considerado um resíduo sólido, em diversos países, existem legislações vigentes que exigem o seu tratamento adequado, assim como sua disposição final de forma segura para o meio ambiente e para a saúde pública. Porém, como pode ser observado nos países em desenvolvimento, como o Brasil, esta não é uma prática comumente encontrada nas estações de tratamento de água (ETA) municipais, sendo, muitas vezes, adotado o encaminhamento dos resíduos, sem qualquer tratamento, diretamente aos cursos d'água. O tratamento do lodo envolve a separação sólido-líquido, isto é, a aplicação de um método de desidratação (Richter, 2001).

Diante dessa problemática, o objetivo desse trabalho foi fornecer um roteiro metodológico para avaliação da viabilidade técnica e financeira de alternativas de processos para tratamento de lodos de ETA, auxiliando e identificando os requisitos indispensáveis para a tomada de decisão de projetistas e gestores quanto ao mais adequado e viável método de tratamento para o resíduo gerado.

### 2. METODOLOGIA

A metodologia de trabalho seguiu duas etapas: a primeira, para subsidiar a análise técnica, foi identificar, selecionar e caracterizar, os fatores, variáveis e/ou indicadores que impactam

diretamente na exequibilidade do tratamento. A segunda, para a análise financeira, foi modelar os custos com investimento e operação/manutenção desses processos.

Foram avaliados, como alternativa no tratamento dos resíduos das ETA, os seguintes métodos: leitos de secagem, leitos de drenagem, filtração em geotêxtil, decanter centrífugo e prensa parafuso.

#### 2.1. Análise Técnica

O levantamento dos fatores, variáveis e/ou indicadores decisivos em uma etapa de análise técnica foi realizado com o auxílio da literatura, juntamente com os fornecedores de equipamentos, operadores das ETA e engenheiros atuantes na área.

Foi elaborado um procedimento de avaliação de aspectos técnicos e ambientais que devem ser atendidos para que o método de tratamento possa ser considerado viável para implantação na ETA avaliada.

#### 2.2. Análise Financeira

A análise de viabilidade financeira de um investimento, deve ser considerada como uma etapa subsequente a da análise técnica.

Foram desenvolvidos modelos matemáticos de estimativa de custos dos métodos de tratamento, tanto para os custos envolvidos na implantação, quanto na operação/manutenção anual, por meio de regressões lineares dos dados levantados. Nos modelos, a variável independente escolhida foi a vazão diária de lodo produzida na ETA, ou seja, lodo úmido que será desidratado.

Os dados relativos aos custos utilizados na modelagem foram obtidos mediante de contato com a companhia de saneamento, visitas às ETA,



contato com fornecedores, pesquisa de mercado, orçamentos de referência e relatório de referências de insumos e composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Todos os custos levantados foram trazidos para uma mesma base temporal. Dessa forma, todos os valores são referentes a dezembro de 2019. Para isso, foi utilizado o Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M/FGV) como índice para correção.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi elaborada uma estrutura metodológica com base em fatores, variáveis e/ou indicadores que possam subsidiar uma análise técnica inicial e sequencial análise financeira dos métodos de tratamento de lodo.

#### 3.1. Análise Técnica

Os fatores, variáveis e/ou indicadores que foram levantados como primordiais para justificar a escolha técnica por um método, são apresentados na tabela 1 e estão divididos entre as fases do projeto em que devem ser considerados: implantação ou operação/manutenção.

Tabela 1. Fatores, variáveis e/ou indicadores essenciais na realização de uma análise técnica de processos de tratamento de lodo.

Implantação	Operação/Manutenção
Área necessária	Tempo de operação
Necessidade de condicionamento do lodo	Demanda de energia elétrica
Impactos ambientais sonoros	Frequência de manutenções
Destinação final	Recursos humanos

#### 3.2. Análise Financeira

Os modelos matemáticos desenvolvidos para embasar uma análise financeira de um investimento em sistema de tratamento de lodo em ETA são apresentados na tabela 2.

A validação dos modelos foi realizada por análise dos resíduos, tanto do histograma de resíduos

quanto do gráfico dos resíduos padronizados em função do valor ajustado. Ficou demonstrado que o ajuste linear foi adequado nessa situação.

Tabela 2. Funções de estimativa de custos de sistemas de tratamento de lodo.

Processo	Funções de custo
Prensa parafuso	$\text{Custo}_{\text{implant}} = 904661,37 + 2806,11 \cdot Q$
	$\text{Custo}_{\text{manut}} = 66243,54 + 12813,98 \cdot Q$
Decanter centrífugo	$\text{Custo}_{\text{implant}} = 666448,29 + 3033,51 \cdot Q$
	$\text{Custo}_{\text{manut}} = 96447,41 + 17035,42 \cdot Q$
Leito de drenagem	$\text{Custo}_{\text{implant}} = 258219,93 + 2371,14 \cdot Q$
	$\text{Custo}_{\text{manut}} = 30768,21 + 6574,67 \cdot Q$
Leito de secagem	$\text{Custo}_{\text{implant}} = 258219,93 + 2814,80 \cdot Q$
	$\text{Custo}_{\text{manut}} = 30768,21 + 8290,21 \cdot Q$
Leito com bags	$\text{Custo}_{\text{implant}} = 314341,30 + 6039,57 \cdot Q$
	$\text{Custo}_{\text{manut}} = 30740,77 + 11445,58 \cdot Q$

$\text{Custo}_{\text{implant}}$  = custo total com investimentos iniciais [R\$]

$\text{Custo}_{\text{manut}}$  = custo anual com operação e manutenção [R\$/ano]

Q = vazão de lodo úmido [m<sup>3</sup>/dia]

Os fluxogramas das figuras 1 e 2 resumem a metodologia que foi elaborada durante a pesquisa para subsidiar a tomada de decisão sobre o método de desidratação de lodo apropriado para implantação na ETA avaliada.



Figura 1. Fluxograma do início da análise de um projeto de tratamento de lodo de ETA

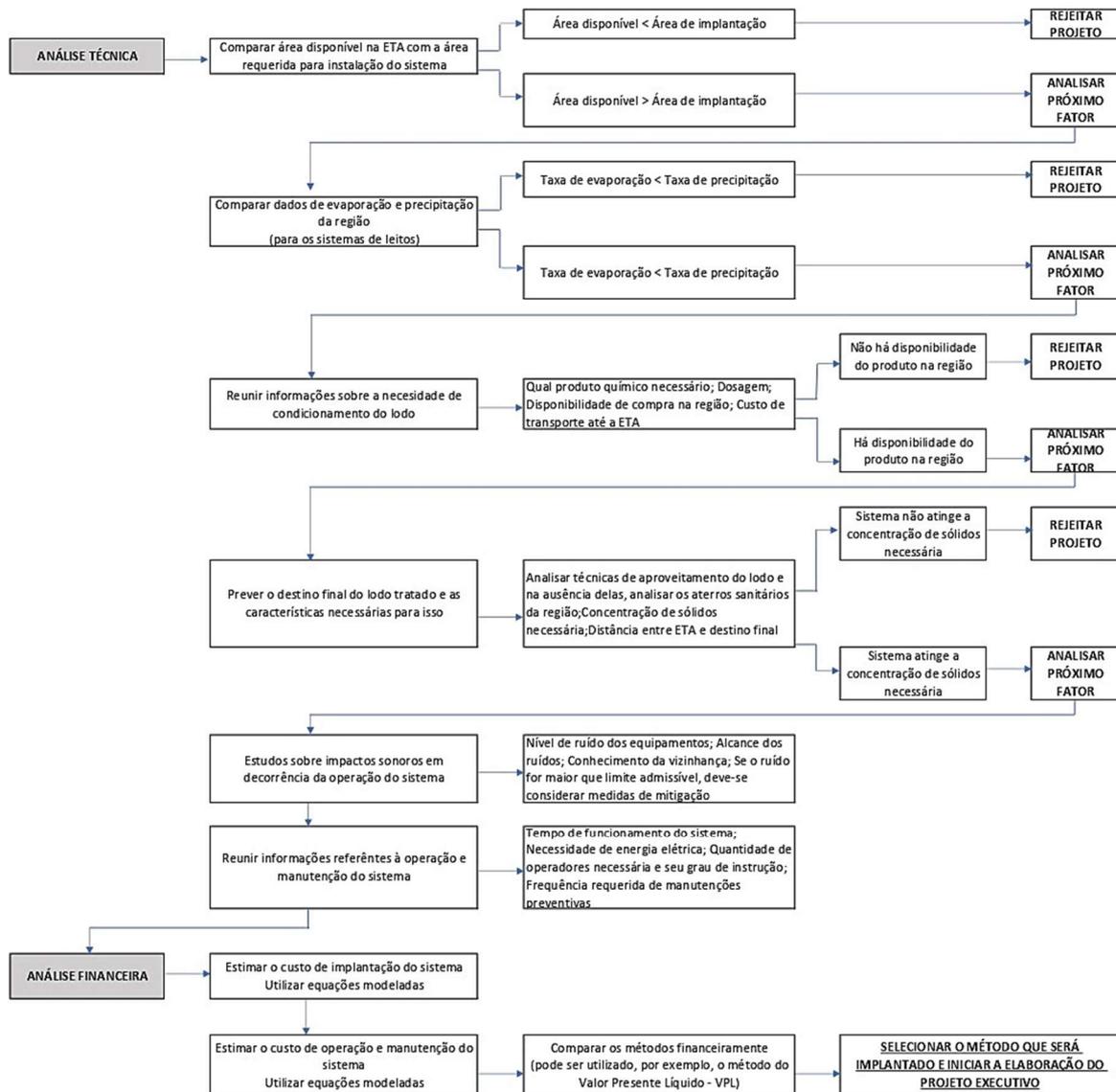


Figura 2. Fluxograma da análise técnica e financeira

## 4. CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida pode ser utilizada como base para um estudo de viabilidade de projetos para tratamento dos resíduos gerados em ETA. Buscou-se facilitar o processo de análise dos métodos de desidratação, de forma a prever fatores que podem dificultar, ou impossibilitar, sua implantação ou operação dentro da realidade da ETA. Assim como, estimar os custos necessários para isso.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

## REFERÊNCIAS

- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em ETAs**. 1. ed. São Calos: São Paulo, 2012.
- RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Edgar Blucher, 2001.

## AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO DE GERAÇÃO DE LETA

Diego Gouveia Marques, Sabesp, diegogm44@outlook.com  
Renan Felício dos Reis, IFSP-SRQ, renan.felicio@ifsp.edu.br  
Miriã Camargo Felício, IFSP-SRQ, miria.camargo@ifsp.edu.br

**Palavras Chave:** LETA, Previsão, Equação, Geração

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de água para fins de abastecimento público é essencial para as sociedades modernas e para a garantia da saúde pública. Entretanto, a potabilização da água gera como resíduo principal o lodo de ETA (LETA), que é um desafio do ponto de vista ambiental (CARVALHO, 2018). O tratamento do LETA é uma das ações da gestão do resíduo que visam, prioritariamente, a remoção de água e consequente redução do volume do resíduo. Existem diversas tecnologias como centrífugas, filtros prensa de esteira, de placas, de parafuso, leitos de drenagem e de secagem, geotecido, entre outros (DI BENARDO, DI BERNARDO, FILHO, 2002).

Para o correto dimensionamento dos equipamentos de tratamento, bem como para questões como armazenamento e destinação, é importante a previsão da geração do LETA nas etapas de concepção e operação. Existem diversas formas de previsão da geração, dentre elas destacam-se as equações empíricas, balanço de massa e determinação em campo (KATAYAMA, 2012). Citam-se, como exemplos de equações disponíveis, a da American Water Work Association (AWWA) de 1978 (equação 1), a da Association Francaise Pour L'étude Des Eaux (AFFE) de 1982 (equação 2) e a de Cornwell de 1978 (equação 3), equações que se utilizam de variáveis dependentes distintas e, consequentemente, possuem complexidade de utilização e robustez diferentes.

#### American Water Works Association – 1978

$$P = 3,5 \times 10^3 \times Tu^{0,66} \quad (1)$$

Onde: P= produção de sólidos (kg de matéria seca/m<sup>3</sup> de água bruta tratada); Tu= Turbidez da água bruta (NTU).

#### Association Francaise Pour L'étude Des Eaux - 1982

$$P = (1,2 \times T + 0,07 \times C + 0,17 \times D + A) \times 10^{-3} \quad (2)$$

Onde: P= produção de sólidos (kg de matéria seca/m<sup>3</sup> de água bruta tratada); D= dosagem de sais de Alumínio (mg/L); A= outros aditivos, tal como o polímero (mg/L); C= Cor aparente da água bruta (uC); T= turbidez da água bruta (NTU).

#### Cornwell – 1987

$$W = 86,4 \times Q \times (2 \times Ca + 2,6 \times Mg + 0,44 \times DSAI + 2,9 \times Dfe + SST+A) \times 10^{-3} \quad (3)$$

Onde: W= produção de sólidos (kg/dia); Q= vazão de água bruta (L/s); Ca= dureza cálcica removida (mg/L CaCO<sub>3</sub>); DSAI= dosagem de sulfato de alumínio com 17,17% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (mgSAI/L); DFe = dosagem de cloreto férrico, medido em Fe (mgFe/L); SST= sólidos em suspensão na água bruta (mgSST/L); A = outros aditivos (mg/L); Dcal= dosagem de cal (mg/L).

Adicionalmente, Reali (1999) apresenta uma tabela de previsão de lodo em relação à qualidade e proveniência da água bruta (Tabela 1).

Tabela 1: Produção de LETA em função da qualidade da água bruta

Fonte de Captação	Faixa de produção de lodo (g sólidos secos/m <sup>3</sup> de água tratada)
Água de reservatório com boa qualidade	12- 18
Água de reservatório com média qualidade	18-30
Água de reservatório com qualidade ruim	30-42
Água de rio com qualidade ruim	42-54
Água de rio com qualidade média	24-36

Fonte: REALI, 1999.

As unidades em todo o trabalho que tratem de massa de lodo por volume são referentes à massa de sólidos secos por volume de água tratada.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação de equação empírica e da Tabela 1 apresentada na previsão da geração de LETA de uma ETA parceira a partir de ensaios de *jar test*. A equação avaliada foi a equação 2 da AFFE – 1982, devido à disponibilidade de dados restrita a dosagens de químicos, turbidez e cor aparente da água bruta.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

O procedimento experimental consistiu na coleta de água coagulada de uma ETA parceira no ponto após a mistura rápida e na obtenção dos valores de turbidez e cor da água bruta, e os valores de dosagem de químicos como coagulante, alcalinizante e polímero. Na sequência, foram realizados ensaios de *jar test* em duplicata com os parâmetros hidráulicos utilizados na ETA, seguidos de filtração em papel filtro (12,5 cm de diâmetro). O filtrado foi secado em estufa a 105 °C e sua massa aferida.

## 3. RESULTADOS

Os dados levantados da água bruta e massa de lodo após filtragem foram dispostos na Tabela 2 (de 2019 a 2020).

Tabela 2. Dados obtidos nos ensaios e análises realizadas.

Ensaio/ amostra	Data coleta	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uC)	Média de lodo (g/2L)
1	30/mai	7,14	23,6	0,06375
2	04/jun	32,1	124,0	0,04280
3	02/jul	6,39	5,5	0,02070
4	18/ago	2,16	4,5	0,00720
5	27/ago	2,89	5,1	0,01500
6	02/set	3,58	20,0	0,00625
7	30/set	3,15	24,2	0,03945
8	07/out	2,94	22,0	0,00995
9	21/out	3,02	17,8	0,00595
10	09/dez	7,08	42,0	0,02570
11	19/fev	19,4	89,3	0,04675
12	04/mar	14,1	87,5	0,02960
13	11/mar	9,7	65,8	0,06860

### 3.1. Utilização da Tabela de previsão

Para verificar a aplicabilidade da Tabela 1 na previsão de geração de LETA por qualidade e proveniência da água bruta, dividiram-se os dados em dois grupos: “água de reservatório de boa qualidade” (grupo 1) contendo seis amostras com turbidez abaixo de 5 NTU; e “água de reservatório de média qualidade” (grupo 2) com 7 amostras com valor acima de 5 NTU. Os valores que estiveram dentro da faixa proposta na Tabela 1 foram as amostras 2 e 11, ambas do grupo 2. Quando observada a distância dos resultados para as faixas, nota-se que para o grupo 1 a distância em porcentagem é visivelmente mais alta do que o observado para o grupo 2. A média da distância da faixa no grupo 1 foi de 54,0%, mais de três vezes maior que a distância média do grupo 2, com valor obtido de 15,6%. Os resultados para o grupo 1 e 2 são indicados nas Tabelas 3 e 4. Para a conversão de valores, multiplicaram-se os resultados com unidade g/2L por 500, obtendo-se valores em g/m<sup>3</sup>.

Tabela 3. Valores de LETA por volume do grupo 1.

Amostra	Lodo (g/2L)	Lodo (g/m <sup>3</sup> )	Distância da faixa 12-18 g/m <sup>3</sup> (%)
4	0,00720	3,600	70,00
5	0,01500	7,500	37,50
6	0,00625	3,125	73,95
7	0,03945	19,725	9,58
8	0,00995	4,975	58,54
9	0,00595	2,975	75,21
Média			54,13

Tabela 4. Valores de LETA por volume do grupo 2.

Amostra	Lodo (g/2L)	Lodo (g/m <sup>3</sup> )	Distância da faixa 18-30 g/m <sup>3</sup> (%)
1	0,06375	31,875	6,25
2 <sup>1</sup>	0,04280	21,400	-
3	0,02070	10,350	42,50
10	0,02570	12,850	28,61
11 <sup>1</sup>	0,04675	23,375	-
12	0,02960	14,800	17,78
13	0,06860	34,300	14,33
Média			15,63

<sup>1</sup> Amostras com valor dentro da faixa proposta.



### 3.2. Utilização da equação empírica

Comparando-se os resultados obtidos com a equação empírica 2, obtiveram-se os resultados expressos na Tabela 5. Para a obtenção de valores com mesma unidade que os fornecido pela equação, kg/m<sup>3</sup>, dividiu-se os resultados dos dados experimentais por 2, de modo a obter resultados em g/L, e expressou-se os resultados da equação empírica em g/L igualmente, seguindo a relação de kg/m<sup>3</sup>=g/L. O cálculo do erro relativo foi obtido utilizando a equação 4.

$$\text{Erro relativo} = \left| \frac{\text{Eq. empírica} - \text{Dados experimentais}}{\text{Dados experimentais}} \right| (4)$$

Obteve-se a média dos resultados e foi aplicado o teste *t* com 95% de significância, verificando-se que as médias não possuem contraste significativo. Para melhor visualização os resultados comparados estão expressos na Figura 1 e as médias na Figura 2.

Tabela 5. Resultados da comparação da Eq. AFFE (1982) com os dados experimentais.

Amostra	Dados experimentais (g/L)	Eq. AFFE (g/L)	Erro relativo (%)
1	0,0318	0,0122	61,54
2	0,0214	0,0502	134,44
3	0,0103	0,0098	4,99
4	0,0036	0,0037	2,00
5	0,0075	0,0046	38,87
6	0,0031	0,0066	112,19
7	0,0197	0,0061	68,80
8	0,0029	0,0057	92,27
9	0,0049	0,0057	15,54
10	0,0128	0,0130	1,52
11	0,0233	0,0322	37,59
12	0,0148	0,0247	67,20
13	0,0343	0,0180	47,43
Média	0,0147 <sup>1</sup>	0,0148 <sup>1</sup>	<i>P-value</i> =0,9735

<sup>1</sup> diferença não significativa (teste *t* - *p* ≥ 0,05)

## 4. CONCLUSÕES

Diante destas considerações, foi possível concluir que a Tabela 1 de previsões foi mais assertiva quando avaliados os resultados do grupo com turbidez acima de 5 NTU, com 2

resultados dentro da faixa proposta e todos os resultados com distância da faixa em até 40%. Observou-se que os resultados comparados com a Equação AFFE (1982) apresentaram comportamentos dispersos entre as amostras, porém, a comparação entre as médias dos resultados não mostrou significância. A Figura 1 apresenta o comportamento da previsão e dos resultados experimentais e a Figura 2 mostra a comparação entre as médias e desvio padrão. A realização de mais ensaios poderia minimizar a influência dos erros experimentais naturais. Por fim, argumenta-se que, em geral, como sugerido por Katayama (2012), é importante a utilização de mais de um método de previsão simultaneamente, bem como acompanhamento por um longo período de tempo para a obtenção de dados confiáveis para a previsão da geração de LETA.

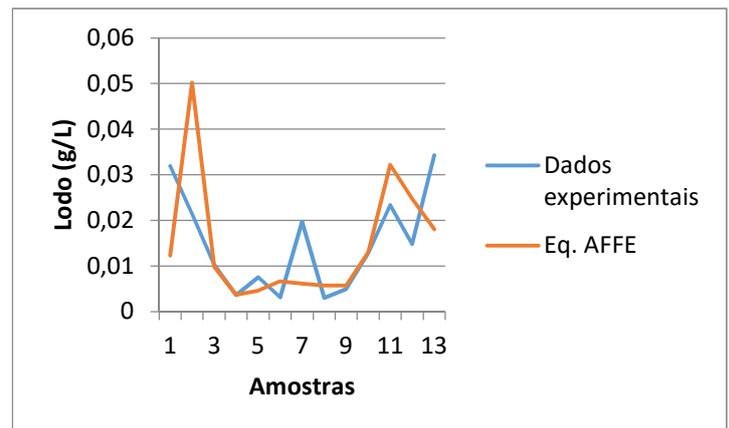


Figura 1. Valores de LETA comparando a equação da AFFE (eq. 2) em relação aos dados experimentais.

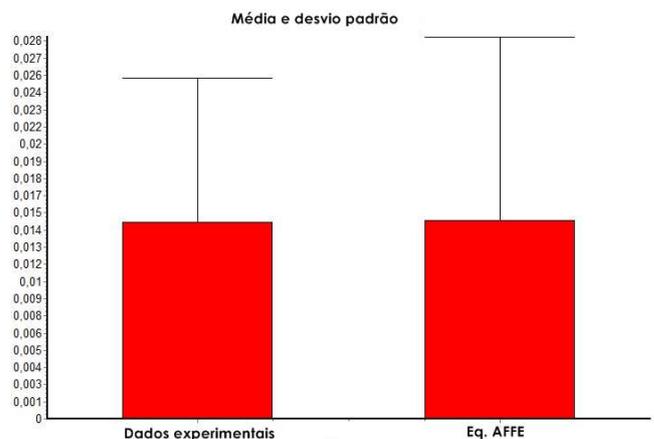


Figura 2. Comparação da média e desvio padrão entre dados experimentais e eq. AFFE.



## REFERÊNCIAS

- CARVALHO, M. H. **Apostila Lodo – ETA escola**. São Bernardo do Campo, 2018.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; FILHO, P. L. C. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: RiMa, 2002.
- KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Acesso em: 10-03-2021
- REALI, M. A. P. **Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs**. In: REALI, M. A. P. (Coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 240 p., 1999.

## COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS DA GERAÇÃO DE LODO EM DECANTADORES

*Gabriel Luis Anibal Oliveira, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, olliveira.g.l.a@gmail.com*

*Dafne de Brito Cruz, Consultora, dbc.dafne@gmail.com*

*Delma de Mattos Vidal, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, delma@ita.br*

**Palavras Chave:** Análise comparativa, Geração, Lodo, ETA

### 1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) no Brasil, em sua maioria, usam a tecnologia de ciclo completo. Essa tecnologia trata a água removendo suas impurezas por meio das operações unitárias de coagulação, floculação, sedimentação/flotação e filtração. Em termos de quantidade, o principal resíduo gerado por esse processo é o lodo acumulado nos decantadores, sendo constituído pelos sólidos presentes na água bruta e os produtos químicos adicionados ao tratamento.

O descarte incorreto desses resíduos ainda é prática recorrente no Brasil e em outros países em desenvolvimento evidenciando a necessidade de discussão sobre esse assunto. Essa prática leva a formação de depósitos de lama, aumento da turbidez e depleção do oxigênio dissolvido próximos ao local de descarte (AHMAD, AHMAD, ALAM, 2017).

Dentre os desafios para implementar soluções corretas para o descarte de lodo, pode-se citar o desconhecimento da quantidade gerada, os custos associados ao tratamento e transporte e a falta de área para instalação dessas soluções em ETA's existentes (ACHON et al, 2013).

Este trabalho traz uma comparação entre algumas fórmulas empíricas para estimar a quantidade de lodo gerado nos decantadores, com base em parâmetros usualmente monitorados em uma ETA, a fim de auxiliar o gerenciamento de lodo na ausência de ensaios para a determinação dessa quantidade.

### 2. PROPOSTAS PARA ESTIMATIVA DE LODO

Estimar a quantidade de lodo gerada é difícil pois ela está intimamente ligada as características da água bruta e a eficiência dos processos de

coagulação/sedimentação. Quando possível, é aconselhável o monitoramento da geração de lodo ao longo do ano hidrológico (ANDREOLI et al., 2001). Entretanto na falta dessas medidas é possível obter uma estimativa da quantidade de massa seca de sólidos removida da água bruta, com base na turbidez e cor, somada a quantidade de produtos químicos adicionados ao processo (CORNWELL, 1987; RIBEIRO, 2007). Ao longo do tempo, pesquisadores propuseram fórmulas empíricas para estimar a produção de lodo. Este trabalho compara quatro equações distintas, sendo elas:

Proposta de Cornwell (1987)

$$P = (0,44D + 1,5T + A) \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

Proposta de Kawamura (2000)

$$P = (F_{c1}D + F_{c2}T) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

Proposta de Gregory e Dillon (2002)

$$P = (2T + 0,2C + 2,9Al + 1,9Fe + 1,6Mn + A) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Proposta de Richter (2009)

$$P = (F_{c2}T + 0,2C + F_{c3}D) \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

Sendo  $P$  a produção de sólidos (kg de matéria seca por  $m^3$  de água bruta tratada);  $T$  a turbidez da água bruta (UNT);  $C$  a cor aparente da água bruta (uC);  $D$  a dosagem de sulfato de alumínio (mg/L);  $A$  outros aditivos (mg/L);  $F_{c1}$  um fator relacionado à associação de moléculas de água ao sulfato de alumínio;  $F_{c2}$  a relação em sólidos suspensos e turbidez na água bruta;  $F_{c3}$  a relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido, e  $Al$ ,  $Fe$ ,  $Mn$  as concentrações precipitadas de alumínio, ferro e manganês (mg/L).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Área de Estudo

Este trabalho foi aplicado à Estação de Tratamento de Água (ETA) do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) (-23,20, -45,88). A água que passa pelo tratamento convencional é proveniente do Rio Vidoca, pertencente à bacia do Ribeirão Vidoca. Essa bacia está localizada no município de São José dos Campos, em São Paulo. A qualidade da água da bacia do Ribeirão Vidoca, majoritariamente urbana, é impactada pela erosão das margens e pelo lançamento de esgotos não tratados (VENDRAME, DA CUNHA, 2013).

#### 3.2. Dados

Neste trabalho, foram utilizados os dados de operação do ano de 2018 da ETA, totalizando 353 conjuntos de dados. Calcularam-se as médias diárias da turbidez da água bruta e da dosagem de sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O$ ), e do volume aduzido. A Tabela 1 apresenta a caracterização estatística dos dados utilizados.

Tabela 1. Estatística das médias diárias.

Parâmetro	Turbidez (UNT)	Dosagem (mg/L)
Mínimo	11,6	36,3
Máximo	247,7	122,9
Média	28,6	58,6
Desvio padrão	27,4	13,2

Na ausência de dados de cor aparente, esta foi estimada a partir de uma correlação linear entre cor aparente e turbidez de 54 conjuntos de dados extraídos de Cruz (2019). Chegou-se à relação da equação 5, com  $R^2$  de 0,9726, onde  $C$  é a cor aparente e  $T$  a turbidez da água bruta. Essa função foi extrapolada para a determinação da cor aparente em todos os 353 conjuntos de dados.

$$C = 6,1096 * T + 90,024 \quad (5)$$

Para a estimativa do coeficiente de relação entre a turbidez e sólidos suspensos, baseou-se na relação linear entre esses dois parâmetros (RÜGNER et al., 2013). Os coeficientes  $F_{c2}$  de 1,85 e 2,1 foram escolhidos com base na revisão de literatura de

Rügner (2013), por apresentarem intervalo de turbidez mais próximo do intervalo do presente trabalho. Também se utilizou o coeficiente 1,86, produto dos ensaios em laboratório de Rügner (2013). Então a média desses três coeficientes, 1,94, foi utilizada como o valor de  $F_{c2}$  nas equações 2 e 4. Para  $F_{c1}$  e  $F_{c3}$  adotou-se 0,26, segundo recomendações de Kawamura (2000) e Richter (2009), respectivamente.

Os valores de turbidez, dosagem de coagulante e cor aparente foram aplicados, conforme o caso, às equações empíricas apresentadas no item 2 para o cálculo da massa de sólidos secos precipitada no decantador ( $kg/m^3$ ).

O volume de lodo diário ( $V_L$ ) foi calculado de acordo com a equação 7 (RICHTER, 2009), em função do volume de água bruta aduzida pela ETA diariamente ( $V_{AD}$ ). Adotou-se 1,74% para a porcentagem de sólidos secos ( $C$ ) (Muller, 2018),  $2600 kg/m^3$  a densidade de sólidos ( $\delta_S$ ) e a densidade da água ( $\delta$ ) foi considerada  $998,23 kg/m^3$  ( $20^\circ C$ ).

$$V_L = \frac{C + \frac{(1-C)\delta_S}{\delta}}{\delta_S} \times \left(\frac{P}{C}\right) \times V_{AD} \quad (7)$$

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Equações 1 a 4 forneceram os resultados apresentados na Figura 1, que traz os valores médios para geração diária em cada mês do ano.

A principal diferença observada é a influência da cor aparente na geração de lodo, conforme visualizado pelo distanciamento entre as curvas geradas pelas Equações 1 e 2 e Equações 3 e 4. Para água com relação cor-turbidez alta, caso desta ETA (Cruz et al, 2020), recomenda-se não considerar somente os valores de turbidez, pois pode-se subestimar a geração de lodo. As equações 1 e 2 (Cornwell, 1987; Kawamura 2000), apesar de terem coeficientes diferentes, nos fornecem curvas muito similares, assim como o par de equações 3 e 4 (Gregory e Dillon, 2002; Richter, 2009)

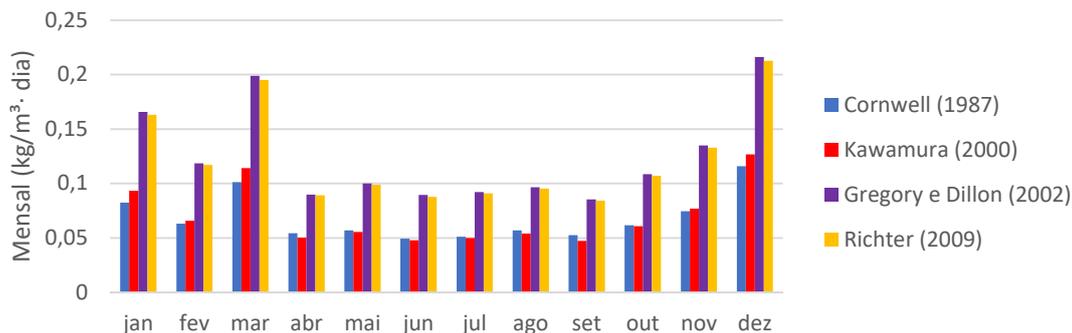


Figura 1. Geração de massa seca média diária mensal (barras).

Pela Figura 1 pode-se observar que os valores para geração diária de lodo no período seco ficam em torno de 0,05 (Equações 1 e 2) e 0,09 (Equações 3 e 4) kg de massa seca de lodo por m<sup>3</sup> de água bruta tratada. Esses valores podem dobrar nos meses de chuva, como observado para os meses de março e dezembro.

O lodo dos decantadores é um material composto em sua maioria por água gerando um grande volume a ser removido dos decantadores. A estimativa do volume ocupado por tal massa seca é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Volume de lodo gerado (m<sup>3</sup>).

Mês	Eq.1	Eq.2	Eq.3	Eq.4
jan	21.0	23.7	42.2	41.5
fev	16.1	16.9	30.3	30.0
mar	27.4	30.9	53.8	52.8
abr	14.5	13.4	24.0	23.8
mai	14.4	14.0	25.3	25.0
jun	12.4	12.0	22.3	21.9
jul	12.6	12.4	22.8	22.6
ago	14.1	13.3	23.9	23.6
set	12.5	11.3	20.3	20.0
out	14.4	14.2	25.4	25.0
nov	18.0	18.5	32.5	32.0
dez	27.5	30.1	51.4	50.5
<b>Total</b>	<b>204.9</b>	<b>210.6</b>	<b>374.2</b>	<b>368.6</b>

A principal interferência do manto de lodo depositado nos decantadores é a perda de altura de decantação, comprometendo a eficiência do tratamento. Além disso, o descarte de quantidades expressivas de lodo em função de

acumulação leva a um impacto maior no corpo receptor. Também deve-se atentar que o lodo sofre adensamento ao longo do tempo, aumento seu teor de sólidos, dificultando seu escoamento e favorecendo a formação de banco de lodo no corpo receptor (AHMAD, AHMAD, ALAM, 2017).

Mesmo não tendo medições precisas da geração de lodo nos decantadores, os operadores da ETA estimam uma altura de manto de lodo de 0,8 a 1,0 metro de altura removido a cada quatro meses resultando em um volume total anual variando entre 421 m<sup>3</sup> a 526 m<sup>3</sup>. As Equações 3 e 4 fornecem valores mais próximos a estimativa feita pelos operadores, mesmo assim subestimam a geração de lodo. No presente caso, esse comportamento pode ser atribuído à adição de barrilha, que não foi levada em consideração por não haver dados suficientes no período observado.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta formas de estimar a geração de lodo dos decantadores de ETA's na falta de medições. Ao utilizar essas fórmulas, deve-se atentar a influência da cor aparente na quantidade de lodo gerado. Esse parâmetro não deve ser negligenciado em água bruta onde a relação cor-turbidez é alta, sendo mais recomendável utilizar as equações propostas por Gregory e Dillon (2002) e Richter (2009). Quando possível, deve-se monitorar todos os parâmetros pertinentes às formulas a fim de obter uma estimativa mais precisa.



## AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S.. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 115-122, June 2013.
- AHMAD, T; AHMAD, K; ALAM, M. Sludge quantification at water treatment plant and its management scenario. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 9, p. 1-10, 2017.
- ANDREOLI, C. V. et al. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: **RiMa/ABES**, 2001.
- CORNWELL, David A. et al. **Handbook of Practice-Water Treatment Plant Waste Management**. Denver, Company, American Water Works Association Research Foundation, 1987.
- CRUZ, D. **Aplicação do índice de floculação no controle da dosagem de sulfato de alumínio na água bruta da Estação de Tratamento de Água do DCTA**. 2019. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2019.
- CRUZ, D. et al. Charge neutralization mechanism efficiency in water with high color turbidity ratio using aluminium sulfate and flocculation index. **Water**, v. 12, n. 2, p. 572, 2020.
- GREGORY, R.; DILLON, G. Minimising Sludge Production at Water-Treatment Plants. **Water and Environment Journal**, v. 16, n. 3, p. 174-179, 2002.
- KAWAMURA, Susumu. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. John Wiley & Sons, 2000.
- MÜLLER, M. **Efeito de diferentes configurações no deságue de lodos em sistemas de confinamento de resíduos em geotêxtil**. 2018. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em infraestrutura aeroportuária, Departamento de Engenharia Civil, ITA.
- RIBEIRO, F. L. de M. Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito - MG. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2007.
- RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. Ed. Edgard Blucher Ltda., S. Paulo, 2001.
- RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Edgard Blucher, 2009.
- RÜGNER, H. et al. Turbidity as a proxy for total suspended solids (TSS) and particle facilitated pollutant transport in catchments. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 2, p. 373-380, 2013.
- VENDRAME, I. F.; DA CUNHA, A. M. Caracterização do transporte de sedimentos na bacia do Rio Vidoca em São José dos Campos, São Paulo, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves. **Anais – XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

# OCORRÊNCIA DE CONTAMINANTES DE PREOCUPAÇÃO EMERGENTES EM SOBRENADANTE DE LAGOA DE SEDIMENTAÇÃO DE LODO DE ETA

*Poliana Nascimento Arruda, Universidade Federal de Goiás, arrudaifg@gmail.com*  
*Paulo Sérgio Scalize, Universidade Federal de Goiás, pscalize.ufg@gmail.com*  
*Ananda Sanson, Universidade Federal de Ouro Preto, ananda\_lima@hotmail.com*  
*Mariana Alves, Universidade Federal de Ouro Preto, mariana\_cpalves@hotmail.com*  
*Sérgio Aquino, Universidade Federal de Ouro Preto, sergio@ufop.edu.br*

**Palavras Chave:** ETA, água de lavagem dos filtros, lodo de decantador, poluentes emergentes

## 1. INTRODUÇÃO

Os Contaminantes de Preocupação Emergentes (CEC), constituem um grupo de produtos químicos oriundos da fabricação de medicamentos, produtos de perfumaria e higiene pessoal, defensivos agrícolas, produtos de limpeza, surfactantes, entre outros (HESPANHOL, 2015; FUHRMAN *et al.*, 2015; WHO, 2012). Seu amplo consumo pela população e os efeitos que podem causar aos organismos não alvos são preocupações em relação à ocorrência dos CEC no ambiente (NIELSEN *et al.*, 2019).

Os resíduos produzidos pelas Estações de Tratamento de Água (ETA), compostos pela água de lavagem dos filtros (ALF) e pelo lodo do decantador (LD), são uma problemática quando lançados sem tratamento nos cursos d'água, podendo provocar assoreamento, aumento da concentração de metais e contaminação do lençol freático (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2016), constituindo ainda uma ameaça aos ecossistemas aquáticos (ALMEIDA; WADA; WASSERMAN, 2017). Pesquisas que avaliem os efeitos dos CEC em matrizes com mistura de contaminantes são escassas (MARTINI *et al.*, 2021; SPOSITO *et al.*, 2018). Desta maneira, são necessárias informações acerca da sua caracterização, para que ações sobre o tratamento e destino desses resíduos sejam subsidiadas.

Neste contexto, essa pesquisa tem como objetivo avaliar a ocorrência destes CEC no sobrenadante da lagoa de sedimentação de lodo (AL) em ETA que

emprega a tecnologia de tratamento de ciclo completo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras do sobrenadante da lagoa de sedimentação de lodo (AL) (Figura 1a) na saída da lagoa da ETA Eng. Rodolfo Costa e Silva (Figura 1b), localizada no município de Goiânia, Goiás, Brasil. Efetuaram-se 12 campanhas de 12 horas cada, com coletas de amostras a cada duas horas para formar amostras compostas



Figura 1. Lagoa de sedimentação de lodo, onde são encaminhados a Água de Lavagem dos Filtros (ALF) e Lodo do decantador (LD) (a) e o ponto de saída do sobrenadante da lagoa e o ponto de coleta das amostras (b).

Para identificação da ocorrência de 24 CEC foi utilizada a cromatografia líquida acoplada à análise de espectrometria de massas (GC-MS/MS) para os CEC: Ibuprofeno (IBU), Paracetamol (PCT), 4-nonilfenol (4NP), 4-octilfenol (4OP), Bisfenol A (BPA), Genfibrozila (GEN), Naproxeno (NPX), Estrona, Estradiol, Etililestradiol e Estriol e a Cromatografia líquida acoplada à análise de espectrometria de massas (LC-MS/MS) para os CEC: Metformina (MET), Aciclovir (ACV), Cafeína (CAF), Linezolida (LNZ), Propanolol (PNL), Diltiazem (DTZ), Prometazina (PTZ), Losartan (LST), Bezafibrato (BZF), Diclofenaco (DCF), Dexametasona (DXM), Loratadina (LRT) e Sulfametoxazol (SMX). A etapa de preparação da amostra e extração em fase sólida foi realizada no Laboratório de Análises de Água (LANA) da Universidade Federal de Goiás (UFG). A etapa de eluição e identificação dos CEC foi elaborada no Laboratório de Caracterização Molecular e Espectrometria de Massas (LABMASSAS) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 24 CEC analisados, 12 foram identificados acima do Limite de Detecção do Método (LDM) em pelo menos uma coleta para as amostras de AL. Os CEC que apresentaram maior frequência foram o BPA, LST, LRT, ACV, GEN e 4OP (Tabela 1). Além destes, a CAF esteve presente apenas em duas coletas acima do LDM com valor máximo de 1.099,28 ng/L. O IBU e NPX apresentaram concentrações acima do LDM em três coletas, com valores máximos de 32,72 e 2323,76 ng/L, respectivamente.

Em relação aos estudos com resíduos de ETA referentes a toxicidade, a preocupação com a presença de metais é mais relatada, como exemplos, o alumínio e o ferro, devido ao uso em larga escala de coagulantes a base desses dois metais no processo de coagulação. Além disso, o interesse pela disposição final desse resíduo seco no solo com o objetivo de uso na agricultura também influencia estudos que destaquem os contaminantes inorgânicos (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2016).

O resíduo de ETA pode assumir diferentes características que dependem de diversos fatores, como a qualidade da água bruta ao longo do ano e a variação das concentrações e dos tipos dos produtos químicos aplicados. Portanto, essa diversidade de características dificulta a resolução dos problemas sobre a disposição inadequada desses resíduos e uma definição quanto ao tratamento aplicado (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013). No Brasil e no mundo, diferentes formas de disposição são adotadas para o resíduo de ETA em estações de tratamento de esgoto (NAIR; AHAMMED, 2013), como agregado na produção de argamassa (ANDRADE *et al.*, 2018), insumo na fabricação de telhas (CREMADES; CUSIDÓ; ARTEAGA, 2018), como material para produção de carvão (ABO-EL-ENEIN; SHEBL; EL-DAHAB, 2017) e como material adsorvente na remoção de poluentes emergentes (DIAS *et al.*, 2021).

Tabela 1. CEC estudados com seus respectivos Limites de Detecção do Método (LDM), frequência de ocorrência e faixa de concentração encontrada para o sobrenadante da lagoa de sedimentação do lodo (AL).

Sigla	LDM	Frequência	Faixa de concentração
		AL	(ng/L)
IBU	0,3	3	<LDM – 32,72
PCT	0,2	0	<LDM
DCF	118,7	0	<LDM
NPX	37,5	3	<LDM – 2323,76
4OP	0,2	7	<LDM – 242,91
4NP	0,3	1	<LDM – 87,95
BPA	0,2	11	<LDM – 1276,98
E1	0,3	0	<LDM
E2	0,1	0	<LDM
EE2	0,3	0	<LDM
E3	0,4	0	<LDM
ACV	0,9	8	<LDM – 346,04
LNZ	1,7	0	<LDM
SMX	2,0	2	<LDM – 99,65
PNL	8,3	0	<LDM
DTZ	1,2	0	<LDM
LST	1,0	11	<LDM – 675,71
DXM	2,9	0	<LDM
GEN	0,1	8	<LDM – 950,45
MET	1,4	0	<LDM
CAF	162,1	2	<LDM – 1099,28
PTZ	0,3	3	<LDM – 63,84
BZF	71,7	0	<LDM
LRT	1,9	8	<LDM – 23,67

Fonte: elaborada pelos autores.



## 4. CONCLUSÕES

O lançamento do sobrenadante da lagoa de sedimentação do lodo (AL) no manancial a jusante do ponto de captação pode caracterizar como uma fonte de poluição e influenciar na qualidade da água.

Estudos que verifiquem a influência do AL no rio Meia Ponte, com avaliações sistemáticas e sazonais, podem ajudar a estabelecer padrões dos CEC nas amostras e, além disso, juntamente com ferramentas ecotoxicológicas, trazer respostas quantitativas acerca dos efeitos dos CEC ao ecossistema aquático.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Funasa pelo apoio financeiro concedido à UFOP via TED 10/2014.

Á Saneamento de Goiás S.A pela disponibilização dos dados.

## REFERÊNCIAS

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Eng. Sanit. Ambient.** [online], 2013, vol.18, n.2, p.115-122. ISSN 1413-4152. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000200003>.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Sustainable management of water treatment sludge through 3 'R' concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, p. 1-13, 2016. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.073>.

ALMEIDA, A. M.; WADA, E. Y.; WASSERMAN, J. C. Volumetric modeling of Two sludge piles from water treatment plants in a Brazilian reservoir. **Water Science and Technology**, p. 1-9, 2017. DOI: [10.2166/wst.2017.515](https://doi.org/10.2166/wst.2017.515).

ANDRADE, J. J. O. *et al.* Performance of rendering mortars containing sludge from water treatment plants as fine recycled aggregate. **Journal of Cleaner Production**, v. 192, p. 159-168, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.246>.

CREMADES, L. V.; CUSIDÓ, J. A.; ARTEAGA, F. Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles. **Journal of cleaner production**, v. 201, p. 1071-1080, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.094>.

DIAS, R. *et al.* Study of the Potential of Water Treatment Sludges in the Removal of Emerging Pollutants. **Molecules**, v. 26, n. 4, p. 1010, 2021. DOI: [10.1021 / acs.est.8b04281](https://doi.org/10.3390/molecules26041010). DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26041010>.

FUHRMAN, V. F.; TAL, A.; ARNON, S. Why endocrine disrupting chemicals (EDCs) challenge traditional risk assessment and how to respond. **Journal of hazardous materials**, v. 286, p. 589-611, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.12.012>.

HESPANHOL, I. Reuso potável direto e o desafio dos poluentes emergentes. **Revista USP**, n. 106, p. 79-94, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p79-94>.

MARTINI, G. A. *et al.* Emerging contaminant occurrence and toxic effects on zebrafish embryos to assess the adverse effects caused by mixtures of substances in the environment. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-17, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11963-x>.

NAIR, A. T.; AHAMMED, M. M. The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 272-281, 2015. DOI:[10.1016/j.jclepro.2013.12.037](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.037).

NIELSEN, E. *et al.* Critical review: grand challenges in assessing the adverse effects of contaminants of emerging concern on aquatic food webs. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 38, n. 1, p. 46-60, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.4290>.

SPÓSITO, J. C. V. *et al.* Emerging contaminants in Brazilian rivers: occurrence and effects on gene expression in zebrafish (*Danio rerio*) embryos. **Chemosphere**, v. 209, p. 696-704, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.046>.



WHO. World Health Organization. **State of the science of endocrine disrupting chemicals 2012:** summary for decision-makers. Disponível em: <https://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>.

ABO-EL-ENEIN, S. A.; SHEBL, Ahmed; EL-DAHAB, SA Abo. Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal. **Applied Clay Science**, v. 146, p. 343-349, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.06.027>.

## TRATAMENTO (BENEFICIAMENTO) E CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ETA PARA USO EM CERÂMICA

Vívian Ane Lopes Cabral, Universidade Federal de Viçosa (UFV), [ane.cabral@yahoo.com.br](mailto:ane.cabral@yahoo.com.br)

Rafael Kopschitz Xavier Bastos, UFV, [rkxb@ufv.br](mailto:rkxb@ufv.br)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Tratamento, Alcalinização, Cerâmica

### 1. INTRODUÇÃO

Os efeitos da incorporação de lodo de ETA em cerâmica, principalmente o aumento de porosidade e de incidência de “coração negro”<sup>1</sup> na peça, apontam para a necessidade de beneficiamento do lodo antes do uso.

No presente estudo, o tratamento químico de lodo de ETA foi avaliado não com propósito usual de redução de umidade, mas de beneficiamento para remoção de matéria orgânica e de subprodutos dos coagulantes químicos (alumínio ou ferro), considerados componentes deletérios ao uso em cerâmica. O tratamento proposto é a alcalinização do lodo para solubilizar parte da matéria orgânica (substâncias húmicas) e os hidróxidos de alumínio e ferro provenientes do coagulante químico utilizado na estação. O tratamento se baseia no processo de recuperação de coagulantes (AWWA, 1991) e na técnica de extração de substâncias húmicas do solo (STEVENSON, 1982; MENDONÇA; MATOS, 2005).

A hipótese a ser verificada aqui é que a técnica de alcalinização do lodo promove, simultaneamente, remoção efetiva de matéria orgânica, de ferro e/ou de alumínio, e melhoria da dispersão das partículas do lodo. Adicionalmente, foram avaliadas características de interesse para uso do lodo em cerâmica, antes e após o tratamento proposto.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

#### 2.1. Origem e coleta dos lodos

Com intuito de melhor representar a diversidade de lodos de ETAs, foram utilizadas amostras de lodos gerados em três ETAs com os coagulantes

mais comumente empregados no tratamento de água no Brasil: (i) lodo da ETA da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que utiliza sulfato de alumínio como coagulante – *lodo de sulfato de alumínio*; (ii) lodo de uma ETA operada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Viçosa (SAAE - Viçosa), conhecida como ETA I; utiliza PAC como coagulante – *lodo de PAC*; e (iii) lodo de uma ETA da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA - MG), ETA Rio das Velhas, pertencente ao sistema de abastecimento de água de Belo Horizonte - MG e região metropolitana; utiliza cloreto férrico como coagulante – *lodo de cloreto férrico*.

As amostras de lodo das ETA UFV e da ETA I SAAE Viçosa foram coletadas diretamente do fundo do decantador, em diferentes pontos, através de sistema de sifão feito com mangueira de 1”. Na ETA Rio das Velhas, o lodo foi coletado na tubulação de transporte de lodo do decantador primário para o adensador.

#### 2.2. Ensaios para condicionamento químico dos lodos

Os ensaios foram realizados em equipamento *Jar test*, marca Nova Ética, modelo 218 / LDB. Os parâmetros do tratamento foram adotados da literatura sobre recuperação de coagulantes (AWWA, 1991): velocidade de rotação de 100 rpm e tempo de reação de 20 min. Após o tempo de reação, deixou-se o sistema em repouso por 24 h para separação das fases por decantação – lodo tratado no fundo e sobrenadante com espécies coagulantes e matéria orgânica.

Para ajuste de pH dos lodos, utilizou-se solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1 N, por já ter sido

<sup>1</sup> Coração negro é um defeito caracterizado por manchas negras ao longo da seção transversal da peça após queima, associado à presença de matéria orgânica na argila.

utilizado com sucesso na recuperação de coagulantes (MASSCHELEIN et al. 1985; AWWA, 1991) e por ser utilizado na extração de substâncias húmicas do solo (STEVENSON, 1982; MENDONÇA; MATOS, 2005), além do baixo custo.

As respostas dos tratamentos foram: remoção de matéria orgânica e remoção de alumínio ou ferro. Para cálculo das porcentagens de remoção foram feitas análise de matéria orgânica pelo método de Walkley-Black ou Carbono Orgânico do solo, descrito em Mendonça e Matos (2005), utilizado para análise de amostras de solos e sedimentos. As determinações de metais (Al e Fe) foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica em equipamento Agilent Technologies 200 Series AA Modelo 240 FS. Estas análises foram realizadas em amostras (sólidas) dos lodos coletados, após secagem em estufa, e nos sobrenadantes do tratamento ácido e alcalino (amostras líquidas) dos lodos.

A relação entre a variável preditiva (pH) e as variáveis resposta foi verificada por regressão linear. A significância ( $\alpha = 5\%$ ) dos parâmetros da equação de regressão ajustada aos dados experimentais, por conseguinte do efeito dos tratamentos, foi avaliada com o teste F da ANOVA utilizando o programa Minitab 16. Os gráficos foram feitos no programa Excel (MICROSOFT®).

### 2.3. Caracterização dos lodos como matéria-prima cerâmica

As análises de caracterização dos lodos foram realizadas conforme recomendado por SANTOS (1975) para caracterização de argilas para uso cerâmico. As amostras foram secas em estufa à  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  e enviadas ao Laboratório de Ensaio em Revestimentos, Núcleo de Tecnologia Cerâmica, da Escola SENAI Mario Amato. As análises realizadas foram as seguintes: análise de composição química por fluorescência de raios-X, análise de composição mineralógica por difração de raios-X, análise dilatométrica e análise térmica diferencial (ATD) até  $1000^{\circ}\text{C}$ . Foram realizadas também análises de distribuição de tamanho de partículas dos lodos por espalhamento dinâmico de luz (*Dynamic Light Scattering*, DLS) em

equipamento *Zetasizer Nano ZS90* da Malvern Panalytical.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Efeito do pH sobre a remoção de alumínio / ferro e matéria orgânica dos lodos

As Figuras 1 e 2 apresentam, na forma de gráficos, os resultados dos ensaios para condicionamento químico do lodo de sulfato de alumínio. Os resultados dos ensaios com lodo de PAC foram bastante semelhantes. Já no caso do lodo de cloreto férrico, não foi possível remover nem ferro e nem matéria orgânica do lodo com o tratamento, por isso o tratamento deste lodo não será abordado aqui novamente.

O efeito do pH sobre a remoção de alumínio (Figura 1) e de matéria orgânica (Figura 2), com base na solubilidade destas espécies em água na faixa de pH alcalino, foi confirmado. Quanto maior o valor de pH maior foi a remoção destes constituintes do lodo.

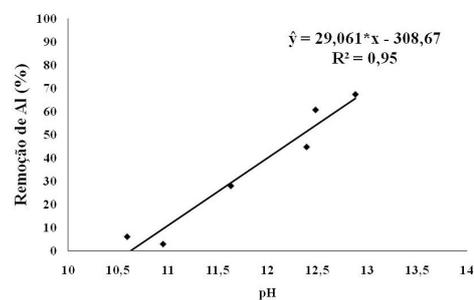


Figura 1. Remoção de alumínio do lodo de sulfato de alumínio em função do pH.

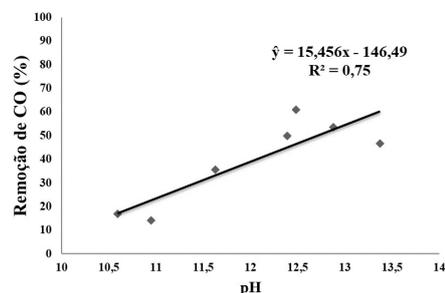


Figura 2. Remoção de carbono orgânico (CO) do lodo de sulfato de alumínio em função do pH.

Já era esperado que os percentuais de remoções de alumínio / ferro ficassem abaixo de 100% com o tratamento, pois este é capaz de solubilizar apenas os metais provenientes do coagulante e não aqueles na estrutura de argilominerais,

provenientes das partículas em suspensão na água bruta. Entretanto, como o interesse foi remover hidróxidos amorfos que interferem no uso em cerâmica, entende-se que esta remoção seja suficiente.

Acredita-se que os mecanismos que atuaram para a remoção de matéria orgânica dos lodos tenham sido: (i) solubilização do hidróxido metálico, que liberou a matéria orgânica adsorvida (SNOEYINK; JENKINS, 1980); e (ii) solubilização, em pH alcalino, da matéria orgânica (substâncias húmicas) complexada com argila. Stevenson (1982) citam que há, em geral, extração de dois terços da matéria orgânica dos solos utilizando soluções diluídas de NaOH.

### 3.2. Caracterização dos lodos como matéria-prima cerâmica

A seguir são tecidos alguns comentários gerais sobre o uso dos lodos em cerâmica a partir dos resultados da caracterização.

Devido à composição predominantemente caulínica dos lodos de alumínio (em torno de 80%), seu comportamento físico-químico na cerâmica deve ser fortemente influenciado por este mineral. A maioria das argilas utilizadas em cerâmica branca e de alta temperatura são caulínicas, com características refratárias devidas a este argilomineral.

Antes do tratamento, a perda ao fogo (PF) dos lodos de sulfato de alumínio e de PAC se mostrou elevada (acima de 30%). Isso também foi verificado por outros autores (OLIVEIRA et al. 2004, MEDEIROS, 2010), que inclusive sugerem ser isto um limitante para o uso do lodo de ETA em cerâmica. Após o tratamento químico, a PF dos lodos foi menor (próxima de 20%), mas manteve-se um pouco acima da PF de argilas húmicas (14%; SANTOS, 1975). Este resultado é, provavelmente, devido a retirada de parte da matéria orgânica e dos hidróxidos de alumínio e ferro amorfo, que são constituintes responsáveis pela perda de massa durante a queima.

As análises granulométricas dos lodos antes e após o condicionamento químico indicam que houve

redução do tamanho médio das partículas com o tratamento ( $D_{50}$  lodo de sulfato de alumínio: 3,97 $\mu$ m antes do tratamento e 1,12 $\mu$ m após tratamento;  $D_{50}$  lodo de PAC – 7,26 $\mu$ m antes e 0,70  $\mu$ m após). Como não foi utilizado nenhum meio de moagem (redução física do tamanho das partículas), a redução no tamanho de partícula dos lodos foi, provavelmente, devida à dispersão dos agregados. Antes do tratamento os lodos seriam classificados como siltosos, quando, na verdade, apresentam composição argilosa.

A determinação da composição granulométrica de lodo de ETA é dificultada pela tendência à agregação das partículas do lodo *in natura* (associado à presença de hidróxidos de alumínio) ou pela dificuldade de desagregação do material seco. Por isso, o lodo de ETA é geralmente classificado, erroneamente, como siltoso ou silte-argiloso (SARTORI; NUNES, 2000; BARROSO, 2007; CABRAL, 2013).

## 4. CONCLUSÕES

Indica-se alcalinização com pH 13 (valor máximo avaliado), com solução de NaOH 1N, como forma de beneficiamento para redução de componentes deletérios de lodos de ETAs que utilizam como coagulante sulfato de alumínio ou PAC para o uso em cerâmica. O tratamento não é indicado para o caso de lodo gerado com cloreto férrico como coagulante

As características dos lodos após tratamento alcalino indicam aspectos favoráveis à incorporação em cerâmica. Porém, cabem cuidados em relação aos possíveis efeitos sobre a temperatura de queima da cerâmica.

Por fim, como foi evidenciado pela caracterização granulométrica dos lodos após tratamento químico, deixa-se registrada necessidade de se avaliar e padronizar a análise granulométrica de lodos de ETAs, que têm sido classificados erroneamente como siltosos.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES – Código de Financiamento 001.



## REFERÊNCIAS

- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. **Coagulant recovery: a critical assessment.** Denver: AWWA Research Foundation e American Water Works Association, 1991.
- BARROSO, M. M. **Influência das micro e macropriedades dos lodos de estações de tratamento de água no desaguamento por leito de drenagem.** 2007. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- CABRAL, V. A. L. **Avaliação da incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento.** Dissertação, mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 2013.
- MASSCHELEIN, W. J.; DEVLEMINCK, R.; GENOT, J. The feasibility of coagulant recycling by alkaline reaction of aluminium hydroxide sludges. **Water Res.**, v. 19, n. 11, p. 1363-1368, 1985.
- MEDEIROS, E. N. M. **Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA.** Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: métodos de análises.** 107 p. Viçosa: UFV, 2005.
- OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 50, p.324-330, 2004.
- SANTOS, P. S. **Tecnologia de Argilas, aplicadas às argilas brasileiras.** vol. 1 e (Fundamento) e vol. 2 (Aplicações). São Paulo: Edgard Blücher, 1975.
- SARTORI, H. J. F.; NUNES, M. S. Caracterização geotécnica de lodos provenientes de Estações de Tratamento de Água e de Esgotos Sanitários. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABES, 1997.
- STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry.** Nova Iorque: John Wiley and Sons, 1982.

## Tratamento de LETA com regeneração de coagulante e uso em cerâmica

*Luiza Helena Lima Moraes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, luizalmooraes@hotmail.com*  
*Felipe Cury Mazza, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, engmazza@hotmail.com*  
*Fábio Cardoso de Freitas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, fcfreitas@ufrj.br*

**Palavras Chave:** Caracterização físico-química; Recuperação por via ácida; Agregação em argila; Tratamento de Água; Blocos cerâmicos.

### 1. INTRODUÇÃO

Os sólidos retidos durante o processo de tratamento de água compõem um resíduo sólido classe II-A denominado de lodo de ETA, (ABNT, 2004). No Brasil, a maior parte das ETA lançam esses resíduos sem tratamento diretamente nos corpos d'água, o que tem gerado preocupação devido ao seu potencial poluidor dado pela presença de metais tóxicos, sólidos em suspensão e matéria orgânica (COUTO, 2011; FERNANDES, 2014; ANDRADE, SILVA & OLIVEIRA, 2014).

Por conta disso diversos métodos para tratamento e disposição desses resíduos têm sido desenvolvidos a fim de reduzir os impactos ambientais negativos (WAGNER & PEDROSO, 2015). A indústria de cerâmica vermelha é altamente promissora nesse sentido devido à natureza heterogênea da argila dada por sua constituição por argilominerais (materiais plásticos) e minerais não argilosos (materiais não plásticos) que facilitam a incorporação do resíduo nos produtos (SIQUEIRA, 2011). Contudo, alguns trabalhos apontam problemas quanto à qualidade dos produtos cerâmicos ao incorporarem lodos com altos teores de hidróxidos metálicos (POZZOBON et. al., 2009; GHIZONI, 2013).

A recuperação de coagulante de lodo de ETA tem por objetivo transformar as moléculas de hidróxidos metálicos presentes no lodo de ETA em sais metálicos, melhorando a destinação final e possibilitando, ainda, a utilização do sal formado como agente coagulante para o tratamento de água ou efluentes (DANDOLINI, 2014). Sendo assim, a recuperação de coagulante pode

favorecer a incorporação do lodo em cerâmica, já que remove as moléculas de hidróxido que prejudicam a adoção da metodologia.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade da adoção de um processo combinado de tratamento e destinação de lodo de Estação de Tratamento de Água entre recuperação de sulfato de alumínio e incorporação em cerâmica vermelha.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Área de estudo

O lodo utilizado para realização do presente trabalho foi coletado na Estação de Tratamento de água Cantagalo, pertencente ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Três Rios (SAAETRI) em conjunto com a prefeitura de Três Rios, município de 81.804 habitantes (IBGE, 2019) situado na região Centro-Sul Fluminense do Estado do Rio de Janeiro.

#### 2.2. Caracterização físico-química

A caracterização do lodo da ETA Cantagalo compreendeu a análise de pH, determinação de teor de umidade, teor de matéria orgânica e uma estimativa da concentração de alumínio, uma vez que são esses os principais constituintes do lodo de ETA estudados em literatura de acordo com Camargo (2014).

#### 2.3. Incorporação em cerâmica

O uso em cerâmica vermelha baseou-se na similaridade das características do lodo estudado com a de outros autores que aplicaram a incorporação para fabricação de cerâmica estrutural.



## 2.4. Recuperação de sulfato de alumínio contido no lodo de ETA

A regeneração de coagulante foi executada por meio do processo de regeneração por via ácida conforme as metodologias de Fulton (1974) adaptadas por Freitas et. al. (2005) e Keeley et. al. (2014), que consiste em adicionar ácido sulfúrico a 10% após homogeneizar, secar e peneirar as amostras de Lodo de ETA, e separar as fases líquida (coagulante recuperado) e sólida (lodo excedente) formadas.

O lodo resultante é pesado a fim de calcular por balanço de massa o alumínio retido pelo processo de recuperação de coagulante, que em conjunto com a densidade do sulfato de alumínio hidratado ( $1,35 \text{ g.ml}^{-1}$  conforme Tassimin Química Comercial Ltda, 2006), e o volume da solução final, estima a concentração de alumínio na solução.

Em seguida, foram realizados ensaios em bancada utilizando o coagulante recuperado e coagulante comercial em água bruta coletada do rio Paraíba do Sul a fim de comparar o visualmente o comportamento do coagulante regenerado.

## 2.5. Viabilidade do processo combinado

A viabilidade do processo combinado compreendeu as análises de viabilidade econômica e socioambiental da metodologia.

A viabilidade econômica foi obtida através da soma entre os custos obtidos com a recuperação de coagulante por via ácida pela SAAETRI e os custos de disposição em olaria mais próxima comparado ao custo do uso de coagulante comercial atual da ETA somado à despesa com a disposição na Central de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos de Três Rios (CTDRS-TR).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Caracterização físico-química

O lodo gerado na ETA Cantagalo apresentou pH variando de 6 a 6,98, teor de matéria orgânica de 24,4 % em relação à massa do lodo desidratado, concentração de alumínio entre 11,65 % a 39,59 % e teor de umidade de 80% em relação ao resíduo bruto. Os valores obtidos apontam semelhanças

das características do lodo estudado com aquelas encontradas em literatura em que utilizaram a incorporação em cerâmica como disposição do lodo (CAMARGO 2014; TARTARI et. al., 2011; PINHEIRO, ESTEVÃO E SOUZA, 2014; COUTO, 2011).

### 3.2. Incorporação de lodo em cerâmica

A incorporação de lodo de ETA em cerâmica tem apresentado grande potencial como método de disposição desse resíduo devido à similaridade das características do lodo com as da argila, sobretudo pela presença de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e  $\text{TiO}_2$  (SMIRDELE, 2016; TARTARI, 2008).

Porém, produtos cerâmicos devem atender a parâmetros de qualidade para serem comercializados, como aqueles exigidos pela ABNT, que avaliam dentre outros, a retração linear, absorção de água e resistência mecânica à compressão (CASTÃO et al., 2017, p. 6).

Nesse sentido, Teixeira et. al. (2002) apontam como ideal um teor de incorporação de 8% a 12,5%, sem qualquer tratamento, visando reduzir alterações na qualidade do produto. Contudo, Margem (2008) obteve em amostras contendo até 10% incorporado, um aumento significativo da absorção de água e redução da resistência mecânica devido à elevada perda de massa do resíduo durante a etapa de queima.

Segundo Paixão (2005) a presença de hidróxidos no lodo derivada da adição de sais durante o processo de coagulação dificulta a desidratação do lodo tornando-o gelatinoso e volumoso, o que pode vir a contribuir no resultado da incorporação do resíduo em cerâmica, fazendo-se necessária a aplicação de um tratamento prévio para melhorar as condições do produto.

Sendo assim, o procedimento de recuperação do coagulante pode vir a ser um instrumento para a redução dos problemas associados à incorporação do resíduo em produtos cerâmicos.

### 3.3. Recuperação de sulfato de alumínio contido no lodo de ETA por via ácida.



O coagulante regenerado a partir do lodo da SAAETRI apresentou potencial de concentração 7,48% de sulfato de alumínio em solução, o que o torna, em teoria, passível de ser utilizado pela empresa, uma vez que esta utiliza sulfato de alumínio em uma concentração de 4%, conforme protocolo de controle de qualidade de água da SAAETRI.

A Figura 1 representa uma diferença visual de remoção de turbidez na água bruta em relação ao coagulante comercial, o que sugere resultados positivos para reutilização do mesmo.



Figura 1: Amostra de água coletada do rio Paraíba do Sul (à esquerda) e amostras de água do rio Paraíba do sul sobre tratamento com coagulante regenerado (centro) e com coagulante comercial à direita.

Após a execução da recuperação do coagulante a partir do lodo da ETA Cantagalo, o resíduo apresentou uma redução de 35,31% do seu volume, em conformidade com o levantamento de Keeley *et al.* (2014), que estima ser possível reduzi-lo em até 60%.

### 3.4. Viabilidade da combinação das técnicas

O custo estimado do processo combinado foi de R\$ 36.846,84/mês, dado pela soma entre as despesas de fabricação do sulfato de alumínio e de transporte do lodo em volume reduzido a 80% à olaria mais próxima, gerando dois insumos que podem ser comercializados ou utilizados pela própria ETA como forma de compensar os gastos com a metodologia. Considerando a fabricação do sulfato de alumínio em loco, não incluindo fatores como custos com alterações de estrutura da ETA, emissão de documentações ou custos com pessoal.

A regeneração de coagulante apresentou custos maiores em relação ao custo do coagulante comercial, porém por meio da recuperação é possível fornecer às olarias um lodo de melhor qualidade para aplicação cerâmica, podendo vir a oferecer percentagens de incorporação superiores a 12,5%, reduzindo as despesas com matéria prima e também os impactos socioambientais associados à disposição indevida do lodo e à atividade extratora de argila, resultando em vantagens econômicas, ambientais e sociais.

Levando em conta a disposição final adequada para ETA's, compara-se o custo da metodologia combinada com a despesa da disposição do lodo na CTDRS-TR, de R\$ 169.757,61/mês, dada, pelo custo do transporte do lodo sem qualquer tipo de pré-tratamento e o custo por tonelada disposta no aterro que apontam a metodologia estudada como mais vantajosa economicamente pela significativa diferença de valores mesmo considerando uma redução do volume de água próxima de 75% presente no lodo.

## 4. CONCLUSÃO

A combinação entre os processos mostra ser relevante, indicando a redução de problemas associados às técnicas de incorporação, reaproveitando matéria prima, evitando impactos ambientais em corpos hídricos e tem potencial para reduzir custos em relação à disposição em aterro sanitário.

## AGRADECIMENTOS

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Três Rios pela permissão da visita técnica e pela disponibilização do Lodo que tornou possível a execução do estudo.

Aos funcionários da ETA Cantagalo pelo auxílio na coleta do lodo.

À Chefe do Setor de Controle de Qualidade de Água Angélica Castanheira da Silva Lima, por fornecer informações e tirar dúvidas o tempo.

À técnica de laboratório da UFRRJ ITR Mirian de Fátima Belisario de Souza por todo o auxílio na execução das práticas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, F. C., SILVA, M. S. & OLIVEIRA, C. de F. **Gestão ambiental em saneamento: Uma Revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas.** IBEAS. V Congresso brasileiro de Gestão Ambiental. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Classificação de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro. 2004.
- CAMARGO O. de N. C. **Avaliação do lodo amarelo de ETA para incorporação em cerâmica vermelha.** Dissertação de Mestrado. Programa de mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Centro de Ciências e Tecnologia. Campos dos Goytacazes. 2014.
- CASTÃO, S. E. *et. al.* **Reuso de Lodo de Estação de Tratamento de Água (E.T.A.) na Fabricação de Tijolos Cerâmicos.** 2017. Congresso ABES. Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/reuso-lodo-eta/> Acesso em 03 de Abril de 2021
- COUTO, P.M.V. **Desenvolvimento e Caracterização de Materiais Cerâmicos Derivados do Processamento dos Resíduos de Estação de Tratamento de Água.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.
- DANDOLINI, I. **Reciclagem do lodo de estação de tratamento de água produção de coagulante por lixiviação ácida.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Escola De Engenharia, Universidade Federal Do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2014.
- FERNANDES, P. E. **Análise Comparativa de um Novo Conceito para Unidades de Desaguamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água: Estudo de Caso de Olímpia-SP.** Trabalho de Conclusão de Curso. Programa de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2014.
- FREITAS, de G. J; FILHO, F. S. S e PIVELLI, P. R. **Viabilidade Técnica e Econômica da Regeneração de Coagulantes a Partir de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.10. No. 2. pp.137-145. 2005.
- FULTON, G. P. **Recover alum to reduce waste-disposal costs.** American Water Works Association. In: Processing Water treatment Plant Sludge. P. 103-118. 1974.
- GHIZONI, S. G. **Fabricação de Pastilhas Cerâmicas com Lodo Proveniente de Estação de Tratamento de Água: Estudo De Caso, ETA Pato Branco, Paraná.** Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento Acadêmico De Construção Civil - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Paraná. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Três Rios: População.** 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/tres-rios/panorama>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.
- KEELEY, J. SMITH A. D, JUDD S. J & JARVISA P. **Reuse of recovered coagulants in water treatment: An investigation on the effect coagulant purity has on treatment performance.** Separation and Purification Technology. 131, 69–78. 2014.
- MARGEM, I. J. **Caracterização e incorporação de lodo de decantação de Estação de Tratamento de Água (ETA) em cerâmica vermelha.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Laboratório de Materiais Avançados (CCT). Campos dos Goytacazes, RJ. 2008.
- PAIXÃO, C. C. L. **Aproveitamento de Lodo De Estação de Tratamento de Água em Cerâmica Vermelha.** Tese de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais. REDEMAT. Ouro Preto. 2005.
- PINHEIRO, A. C. B; ESTEVAO, M. G; SOUZA, P. D. **Lodo proveniente da estação de tratamento de**



**água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo.** Rio de Janeiro. V. 19, n. 3, p. 204-211. 2014.

POZZOBON, J. C., MARAN, M. A., LUCAS J. F. R., DÍAZ M. N. **Aplicação de lodo de estação de tratamento de água para a produção de cerâmica artística.** In: IV Congresso da Academia Trinacional de Ciências, Foz Do Iguaçu, PR, 2009.

SIQUEIRA J. B. **Caracterização de resíduos de estação de tratamento de água e estudo de reaproveitamento na indústria de cerâmica vermelha.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2011.

SMIRDELE, J. J. **Estudo de viabilidade para destinação final do lodo da ETA Laranjal/RJ.** Projeto de Graduação. Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2016.

TARTARI, R. **Incorporação de Lodo Gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, Como Aditivo em Massas Para Cerâmica Vermelha.** Tese de Mestrado. Programa de Pós-Graduação "Stricto Sensu" em Engenharia Química. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Centro de Engenharias e Ciências Exatas. Toledo. 2008.

TARTARI, R. DÍAZ-MORAI N., MÓDENESI, A. N.; PIANAROII, S. A. **Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivos em argila para cerâmica vermelha. Parte I: Caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense.** Cerâmica. V. 57, n. 343, pp. 288-293. 2011.

TASSIMIN QUÍMICA COMERCIAL LTDA. **Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico: Sulfato de Alumínio.** 2006. Disponível em: <<http://201.57.253.136/qualidade/FISPQs/FISPQs%20por%20clientes/Tassimin/sulfato%20aluminio%20po.pdf>> Acesso em 06 de novembro de 2020.

TEIXEIRA R. S. **Caracterização de Resíduo de Estações de Tratamento de Água (ETA) e de**

**Esgoto (ETE) e o Estudo da Viabilidade de seu Uso pela Indústria Cerâmica.** AIDIS: XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002.

WAGNER, F. L & PEDROSO, K. **Disposição de Resíduos das Estações de Tratamento de Água.** Technoeng, Ponta Grossa/PR. 2014. Disponível em:<<http://www.faculdadespontagrossa.com.br/revistas/index.php/technoeng/article/view/110/111>>. Acesso em: 03 de Abril de 2021.

## ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA: LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Ana Dêgyla Carneiro Vasconcelos, Graduanda em Saneamento Ambiental IFCE, [degylast@hotmail.com](mailto:degylast@hotmail.com)

Ana Raina Carneiro Vasconcelos, Graduanda em Engenharia Civil UVA, [anarainast@hotmail.com](mailto:anarainast@hotmail.com)

Marcus Vinicius Freire Andrade, Professor de Tecnologia em saneamento ambiental IFCE,  
[marcus.andrade@ifce.edu.br](mailto:marcus.andrade@ifce.edu.br)

Francisco Bruno Monte Gomes, Professor de Tecnologia em saneamento ambiental IFCE,  
[bruno06gomes@gmail.com](mailto:bruno06gomes@gmail.com)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Panorama Bibliométrico

### 1. INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos hídricos está diretamente relacionada a ações que visam melhorar a qualidade do meio ambiente e dos seres humanos. Para obter uma água de boa qualidade, evitando doenças de veiculação hídrica, é preciso um tratamento eficaz nas estações de tratamento de água (ETAs). Nesses locais são realizadas várias etapas do processo de purificação da água bruta, captada em rios ou represas, tornando-a assim própria para o consumo e o abastecimento da população local.

O tratamento da água pode ser realizado por método convencional ou avançado. O método avançado está presente em ETAs de grande porte, com as fases de clarificador de contato, pré-oxidação, flotação, centrifugação e membranas filtrantes (CAMPOS, 2015). Já o convencional está inserido em pequenas ETAs e conta com as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e, por fim, a fluoretação. Após finalizadas as etapas do sistema convencional, assentando-se no fundo dos tanques de água, é formado o resíduo sólido conhecido como lodo. Esta substância é classificada como resíduo Classe IIA-Não inerte, segundo a NBR 10004 (2004).

O lodo é constituído por sólidos e precipitados químicos e possui camada viscosa. Tais resíduos são gerados por meio de partículas muito pequenas de argilominerais e matéria orgânica. Pelo fato de o lodo possuir altas concentrações de elementos químicos (Al, Fe, Ti, Mg), é necessário que ocorra um tratamento adequado para evitar danos ambientais. Entretanto, os resíduos de lodo presentes nas ETAs, em sua maioria, são lançados

sem nenhum tipo de tratamento nos cursos d'água circunvizinhos (JÚLIO *et al.*, 2011).

A Lei 12.305 (2010) define a reutilização, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Portanto, o lodo na ETA precisa passar por um gerenciamento para adequar-se às premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Assim, de acordo com Fiore *et al.* (2020), o tratamento correto aplicado no lodo gera grandes benefícios para atividades humanas, como fabricação de cimento, disposição de tijolos, compostagem, solo comercial e produção agrícola.

A partir de então, percebe-se a importância do estudo sobre o lodo, para identificar problemas e propor melhorias, auxiliando no melhor aproveitamento do resíduo. Em decorrência deste enfoque, o presente trabalho tem como objetivo investigar de que forma a produção científica relata o manuseamento do lodo gerado pelas ETAs. Por conseguinte, foi realizada uma análise bibliométrica com os dados provenientes na Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), durante o período de meses de março-abril de 2011 a 2021.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Souza (2021), a bibliometria é considerada uma área de estudo de muita importância, pois facilita a análise da produção científica mundial. Os parâmetros utilizados representam o desempenho e o desenvolvimento de um determinado campo do conhecimento.

Assim sendo, o referente estudo sobre o panorama de análises bibliométricas do lodo em

ETAs foi realizado abrangendo os últimos dez anos (2011-2020). Foram efetuadas buscas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), entre os meses de março-abril de 2021, com o seguinte comando: “lodo de ETA” nos idiomas português e inglês. Esta pesquisa foi elaborada por meio de uma abordagem quantitativa-descritiva de cinco parâmetros analisados, permitindo assim garantir um razoável grau de validade externa e interna.

Os dados da amostra de publicações foram organizados e tabulados por auxílio do software Microsoft Office Excel 2020.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A gestão do lodo é de suma importância para o ambiente no todo, e perpassa por quantificação e qualificação de estudos. Após a coleta de dados no site da CAPES, foram localizados 101 resultados do comando “Lodo de ETA”, conforme a Figura 1.

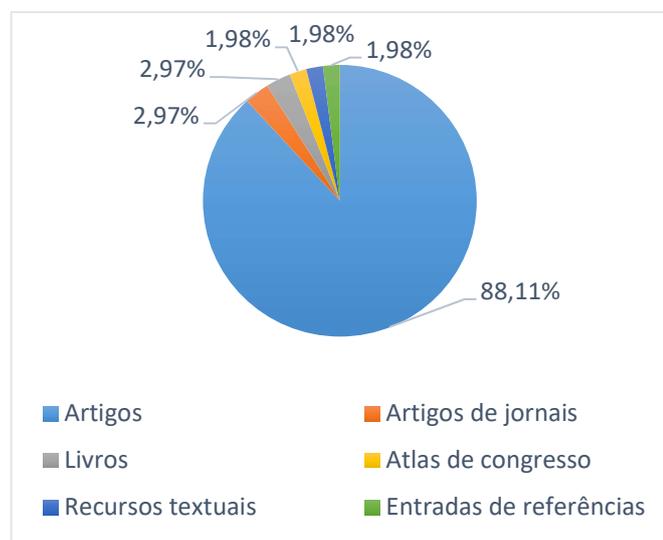


Figura 1. Distribuição de publicações entre 2011 a 2020.

Dos 101 trabalhos contidos na plataforma CAPES, foram constatadas publicações em idiomas diversos. Dentre eles, destaca-se a língua inglesa (76 publicações) e portuguesa (33) com o maior número de lançamentos. As demais línguas apresentadas são espanhol (18), italiano (13) e alemão (3). Na Tabela 1 é visualizado o idioma empregado nos trabalhos técnicos.

Tabela 1. Idiomas empregados nos trabalhos técnicos sobre lodo entre 2011 a 2020.

Idioma	Quantidade
Inglês	76
Espanhol	18
Português	33
Italiano	13
Alemão	3

Diante desses resultados, a maioria dos brasileiros produzem artigos no idioma inglês. Este fenômeno pode ser explicado por causa da alta viabilidade e inovação que essa língua causa.

Na Figura 2 é mostrada a disposição temporal dos trabalhos.

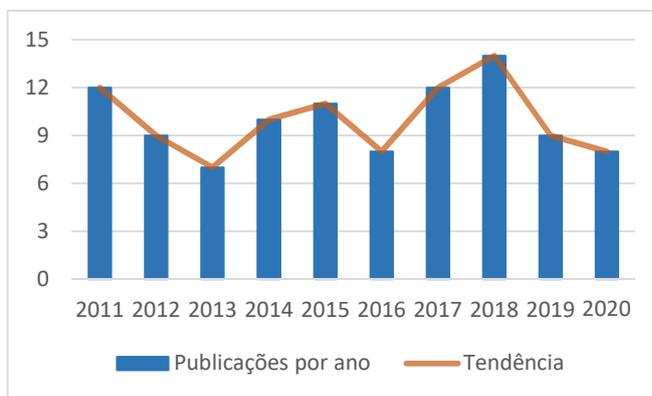


Figura 2. Publicações entre 2011 a 2020 com linha de tendência.

É notável apontar que dos anos de 2011 a 2013 houve uma queda na publicação dos trabalhos que se repetiu ainda nos anos de 2018 a 2020. As maiores quantidades de trabalhos por ano foram em 2018, com 14 publicações, seguido dos anos 2017 e 2011 com a mesma quantidade de 12 publicações. A perspectiva é que, nos anos seguintes, os valores possam aumentar novamente.

A linha de pesquisa principal sobre o lodo de ETA é a engenharia, onde aborda o reuso parcial, incorporação, aproveitamento do resíduo em tratamentos, composição de materiais da construção civil e na produtividade agrícola, em sua maioria. Segue-se as parametrizações das propriedades do lodo, tratamento de água, como

linhas de pesquisa secundárias, conforme mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Linhas de pesquisa em relação ao lodo entre 2011 a 2020.

Linha de Pesquisa	Porcentagem
Engineering	22,9%
Sludge	12,5%
Water Treatment	14,6%
Environmental Sciences	9,3%
Water Resources/Supplies	9,3%
Brazil	7,2%
Water Treatment Plants	6,3%
Methods and Instruments	6,3%
Languages & Literatures	6,3%
Water Reuse	5,2%

Entretanto, há ainda lacunas sobre a maneira correta de dispor esses resíduos, de forma a causar menor impacto ambiental devido à variação das características do lodo gerado (PAIVA; MOREIRA; SOARES, 2016). Como cada região possui características próprias nos corpos hídricos (temperatura, poluição, conservação da mata ciliar), faltam estudos específicos de modo a integrar a engenharia com propriedades do lodo, instrumentação, reuso. Só com tal unidade, seria possível adaptar soluções viáveis para disposição final de lodos específicos.

Das 101 publicações, foram catalogados cerca de 75 trabalhos distribuídos em periódicos. A Figura 3 exibe o gráfico quanto aos tipos de revistas desses trabalhos.

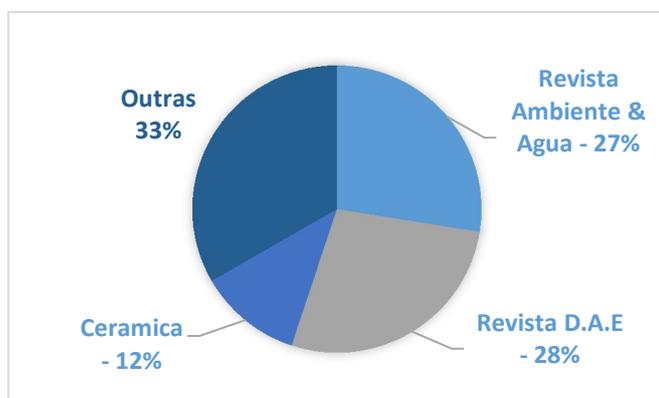


Figura 3. Periódicos com publicações sobre lodo entre 2011 a 2020.

Dentre eles, o maior número corresponde a Revista Ambiente & Água e da Revista D.A.E com um total de 19 artigos cada uma. Posteriormente, destaca-se a revista Cerâmica (8 artigos publicados).

#### 4. CONCLUSÕES

O lodo, produzido em ETAs, despejado de forma inadequada acarreta impactos, como o acúmulo de metais no solo, elevação da matéria orgânica no solo, elevação da turbidez de água e a salinização do solo. Assim, o panorama de estudos sobre tal assunto em determinado período reflete o comprometimento e contribuição na correta disposição final do lodo. Conforme analisado, é correto afirmar que o estudo sobre o lodo, entre os anos de 2011 a 2020, não tende a permanecer constante em toda sua trajetória. Há, ao longo dos anos, acréscimos e decréscimos da produção de trabalhos publicados.

Como se é notável observar, a língua predominante é a inglesa, somado à português, espanhol, italiano e alemão. Com a difusão das línguas, aos poucos, o assunto sobre o lodo vai ganhando espaços nos meios acadêmicos.

As linhas de pesquisa sobre lodo de ETA incluem as engenharias, análise do lodo, tratamento de água, entre outros. Tais linhas de pesquisa recorrem às melhorias para o uso do lodo como material de construção civil, aproveitamento na agricultura e análise de características físicas e químicas. Percebe-se lacunas quanto à integração das linhas de pesquisa na especificidade de parâmetros do resíduo para determinados usos.

Assim, a importância da bibliometria dos estudos sobre o lodo em ETAs, confrontando com a realidade atual, dá direcionamentos para a destinação correta do resíduo.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, a base de dados pública discutida na referida pesquisa.



## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- BRASIL. **Resolução nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm) Acesso em: 04 abril de 2021.
- CAMPOS, H. L. Caracterização de água de lavagem de filtros em estações de tratamento de água de filtração direta. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Centro de Tecnologia, UFRN. 2015.
- IORE, F. A; RODGHER, S; ITO, C. Y. K; BARDINI, V. S. S. dos. KLINSKY, L. M. G. Qualidade das águas superficiais e geração de lamas nas estações de tratamento de água. **Revista Ambiente e Água**, v. 15, p. 5, 2020.
- JÚLIO, M. de; OROSKI, F, I.; SANTOS, M, N, O dos.; JÚLIO, T, S de. Reuso do Coagulante Recuperado do Lodo de ETA no Tratamento Terciário do Efluente de Lagoa de Polimento de Reator. (2011). **Revista D.A.E**, v. 59 (185), p. 4-9.
- PAIVA, S. G; MOREIRA, V. T. G; SOARES, A. F. S. Lodo de estação de tratamento de água (leta): resíduo ou insumo? In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2016. **Anais...** Campina Grande: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.
- PORTAL DE PERIÓDICOS CAPES/MEC. **Lodo de ETA**. 2021 Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 14 de abril de 2021.
- SOUZA, K, de G; ESPINDOLA, G, de M; SILVA, C. da E. Qualidade da água e sensoriamento remoto: análise bibliométrica da produção científica mundial. (2021). **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 7, n.1, p. 577-590.

# CONFEÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE APUCARANA-PR

Robert V. Soares, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), robertvictor16@gmail.com

Andrea Sartori Jabur, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Augusto Montor de Freitas Luiz, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Tijolos, Resistência, Solo-cimento

## 1. INTRODUÇÃO

A água que abastece determinada população, na maioria das vezes, é proveniente do tratamento realizado por uma Estação de Tratamento de Água - ETA, esta gera um resíduo durante o tratamento: o lodo. O lodo gerado na ETA-Caviúna passa por uma centrifugação e é usado como sobre camada no aterro de Apucarana, porém há indícios da geração de problemas deste lodo para a vida humana e aquática, devido à presença de sais de alumínio provenientes do coagulante utilizado no tratamento. Uma das hipóteses de minimização dos impactos deste resíduo é a inserção em tijolos maciços, feitos a partir de areia, solo e cimento, com substituição parcial do solo por lodo.

## 2. CONTEÚDO

### 2.1. Objetivo Geral

A presente pesquisa tem por objetivo caracterizar e avaliar a inserção do lodo da ETA da Cidade de Apucarana, na confecção de tijolos de solo cimento, buscando não alterar as características físico-químicas.

### 2.2. Materiais e Métodos

Os materiais utilizados na produção dos tijolos foram Lodo da ETA de Apucarana, Cimento Portland CP II E, Solo de Apucarana e Areia. As proporções destes materiais foram estipuladas em 3 traços, conforme Tabela 1, baseados em outros trabalhos similares e nas normas de solo-cimento.

Tabela 1. Traços Das Amostras em Porcentagem

	Cimento	Areia	Solo	Lodo
<b>Referência</b>	10%	40%	50%	0%
<b>Tipo 1</b>	10%	40%	45%	5%
<b>Tipo 2</b>	10%	40%	40%	10%
<b>Tipo 3</b>	10%	40%	35%	15%

Fonte: Autor (2019)

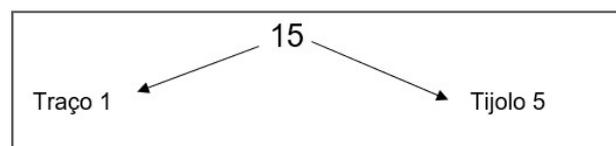
### 2.3. Confecção do Tijolo

Na confecção dos tijolos foram utilizados os moldes de confecção de paver, reservatórios para imersão, estufa e balança semi-analítica.

O lodo foi coletado na ETA -Caviúna a qual é cedido centrifugado. Depois foi secado em ambiente protegido da chuva e triturado para posterior mistura. O solo foi coletado e peneirado dentro da UTFPR - Câmpus Apucarana, descartados os primeiros 20 centímetros, para evitar o material orgânico. A areia (média) foi adquirida em depósito de materiais, proveniente de rio de água doce. Diante disso, triplicatas de cada material para confecção dos tijolos foram colocados na estufa por 24 horas a 105°C, assim foram aferidas as umidades, com o intuito de descontar a água no dosagem de cada componente. Desta forma, foram feitas a mistura e a confecção de cada traço dos tijolos, sendo 10 tijolos para cada traço.

A confecção dos tijolos foi feita nas formas de paver, manualmente com o auxílio de uma espátula, em 3 camadas de igual espessura para melhorar a compactação. Após 6 horas depois de compactados, os tijolos foram desformados, colocados para secagem na sombra e umidificados por 7 dias (molhagem feita duas vezes ao dia).

A partir deste ponto, a identificação dos tijolos seguiu o padrão conforme ilustrado a Figura 1.



Fonte: Autor (2020)  
Figura 1. Identificação

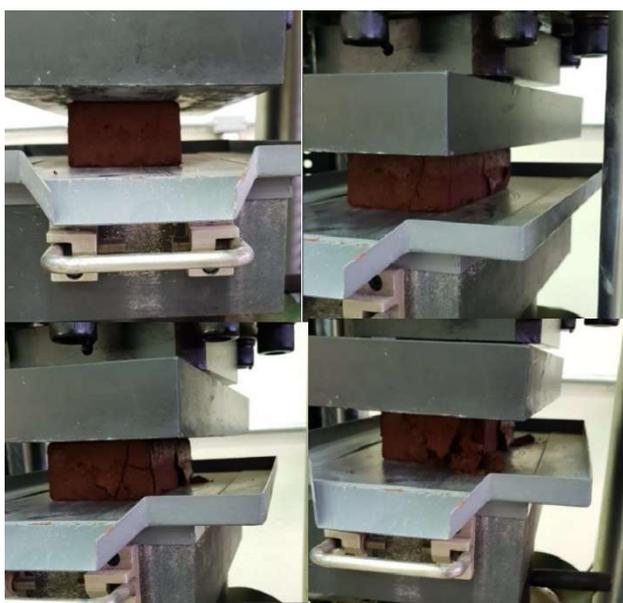
## 2.4. Análise dos Tijolos

A análise dos tijolos foi feita a partir dos ensaios solicitados pela NBR 10834/2018, que dispõe dos requisitos para aceitação de lotes de tijolos de solo-cimento sem função estrutural. Diante disso, foram realizados ensaios de absorção de água e compressão.

Para o ensaio de absorção de água foram reservados 3 tijolos de cada traço. Estes foram colocados na estufa por 24 horas e aferidas a massas secas ( $m_1$ ). Assim, foram imersos em baldes por mais 24 horas, secos com panos úmidos e aferidas as massas úmidas ( $m_2$ ). Por fim, foi calculada a absorção de água pela equação (1).

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

Os ensaio de compressão, foram reservados 5 tijolos de cada traço. O ensaio iniciou-se com a imersão dos tijolos no dia anterior, conforme requisitos da NBR 10834/2018. No dia seguinte os tijolos foram medidos para parametrização da Área de Aplicação da Carga-S (em mm<sup>2</sup>), colocados na Prensa Hidráulica e aplicada a Carga-F (em Newtons) até o rompimento por completo do tijolo, conforme Figura 2. Assim, foi possível calcular a Resistência à Compressão – FT (em Mpa) pela equação (2).



Fonte: Autor (2020)

Figura 2. Teste de Compressão

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (2)$$

Outra característica analisada foi a retração do tijolo, que poderia ser um problema gerado pela utilização do lodo de ETA, que usualmente se retrai durante a secagem. Assim as dimensões medidas para o ensaio de compressão foram comparadas com as da forma de paver.

## 2.5. Resultados

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Absorção de Água

Tijolo	Peso Seco (g)	Peso Úmido (g)	Água	Média
01	1446	1894	30,98%	
02	1542	1964	27,37%	27,71%
03	1582	1974	24,78%	
11	1446	1896	31,12%	
12	1444	1890	30,89%	29,41%
13	1518	1916	26,22%	
21	1476	1930	30,76%	
22	1492	1924	28,95%	29,17%
23	1532	1958	27,81%	
31	1440	1868	29,72%	
32	1488	1908	28,23%	28,73%
33	1444	1852	28,25%	

Fonte: Autor (2019)

A absorção dos tijolos superou o limite de 20% da norma, no entanto, pode-se observar também que as médias de absorção de água dos tijolos com adição de lodo não tiveram uma diferença significativa para o traço 0, mostrando que a adição de lodo não é prejudicial nesse sentido.

Os resultados obtidos no ensaio de compressão estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Resistência a Compressão

Tijolo	Força Resistida (N)	Área de Aplicação (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
07	11700	18620	0,628357
15	15300	19012	0,804755
16	14000	19012	0,736377
25	11300	19012	0,594361
37	11700	19208	0,609121

Fonte: Autor (2019)

Os tijolos não alcançaram a resistência mínima para utilização de 1,7 MPa, porém é importante ressaltar que a adição de lodo não diminuiu significativamente a resistência em relação a amostra sem lodo, e as amostras com 5% de lodo obtiveram resultados significativamente melhores que a amostra sem lodo.

A Tabela 4 mostra as retrações apresentadas pelas amostras de tijolos medidas.

Tabela 4. Retração

Tijolo	Retração Largura (mm)	Retração Comprimento (mm)	Retração Espessura (mm)	Retração em % de Volume
06	1	1	0	1,52%
07	3	2	1	5,89%
15	2	1	0	2,54%
16	2	1	1	4,41%
23	1	2	1	3,90%
25	2	1	1	4,41%
31	2	1	0	2,54%
37	2	0	0	2,04%

Fonte: Autor (2020)

Pode-se inferir que as retrações das medidas foram insignificantes, não interferindo significativamente outros parâmetros das amostras.

### 3. CONCLUSÕES

Os testes de compressão mostraram que nenhum dos traços alcançou o limite mínimo para a utilização. Este parâmetro tem relação direta com o erro humano, com o tipo de solo utilizado — que segundo Garcia (2019), é composto por 93% de partículas finas — e com método de compactação utilizado. As retrações avaliadas foram muito baixas, ao contrário do que se esperava.

A absorção de água foi elevada, o que pode ser decorrente do tipo de solo, cimento e da compactação utilizadas na confecção, que contribuíram para maior porosidade da peça.

Conclui-se a partir dos resultados obtidos que os tijolos produzidos não seriam aceitos para a utilização em construções pelos padrões da NBR, mas em contrapartida deve-se levar em conta a falta de recursos para que se obtivesse menor interferência de erro humano, principalmente na

compactação. Assim as amostras foram rejeitadas para aplicação, mas com ressalvas para novos estudos, principalmente para o Traço 1 que obteve melhores resultados.

### REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834: Bloco de Solo-cimento Sem Função Estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- GARCIA, J. H. N. **Análise do Potencial de Colapso de Um Solo Argiloso do Município de Apucarana – PR**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2019.

## Destinação ambientalmente adequada de LETA: análise científica e prática

*Luana Ribeiro da Silva, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), luana.ribeiro32@gmail.com*  
*Calí Laguna Achon, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), caliachon@ufscar.br*  
*Ricardo de Lima Isaac, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), isaac@unicamp.br*

**Palavras Chave:** lodo, ETA, gestão, destinação, resíduos de ETA

### 1. INTRODUÇÃO

A preocupação ambiental com o lançamento dos resíduos do processo de tratamento de água ocorre devido as suas características, que contém metais e, principalmente, elevada concentração de sólidos, que pode causar alterações nos corpos d'água quando lançados sem tratamento. No Brasil, a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e a concentração dos poluentes presentes no lodo de ETA *in natura* não satisfazem as condições de lançamento previstas nesta lei. A Lei 12.305/2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos, cita os resíduos dos serviços públicos de saneamento básico como uma de suas classificações de resíduos sólidos quanto à origem. Um dos objetivos desta lei é a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos e a disposição adequada dos rejeitos. Os municípios devem elaborar um plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (PMGIRS); porém, este pode ser substituído pelo plano municipal de saneamento básico (PMSB), desde que contemple o conteúdo mínimo previsto na lei. O Art. 19 estabelece o conteúdo mínimo dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, que deve conter um diagnóstico da situação incluindo a origem, volume, caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final empregadas. O objetivo deste trabalho foi analisar as publicações científicas sobre lodo de ETA através de ferramentas de análise bibliométrica e realizar o comparativo da abordagem prática evidenciada em documentos oficiais dos órgãos públicos, como plano de bacias, plano municipal de saneamento básico e plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, visando avaliar se as informações

necessárias para planejamento das ações relacionadas ao tratamento e destinação do lodo estão sendo contempladas em tais documentos.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Análise Bibliométrica

Foi realizada uma busca na base de dados Scopus®, visto que é a maior base de dados de resumos e citações de literatura revisada por pares (ELSEVIER, 2019). A pesquisa foi realizada em idioma inglês para abranger o maior número de resultados. Foram realizadas duas diferentes buscas a fim de encontrar como resultado o maior número de publicações associadas ao tema, excluindo-se trabalhos que não tenham a mesma perspectiva do assunto pesquisado. As expressões utilizadas na primeira busca (Pesquisa A) foram TITLE-ABS-KEY (water AND treatment AND plant AND sludge) AND NOT TITLE-ABS-KEY (sewage) AND NOT TITLE-ABS-KEY (wastewater) AND NOT TITLE-ABS-KEY (wastewater AND treatment AND plant) AND NOT TITLE-ABS-KEY (waste AND water AND treatment AND plant). A segunda busca (Pesquisa B) foi composta pela expressão TITLE-ABS-KEY (water AND treatment AND plant) AND TITLE (sludge) AND NOT TITLE-ABS-KEY (wastewater) AND NOT TITLE-ABS-KEY (wastewater AND treatment AND plant) AND NOT TITLE-ABS-KEY (waste AND water AND treatment AND plant) AND NOT TITLE-ABS-KEY (sewage) AND NOT TITLE-ABS-KEY ({activated sludge}). Ambas as pesquisas foram realizadas dia 22 de dezembro de 2020, considerando desde o ano 1965, e refinadas para os tipos de documentos como artigos, anais de eventos e *reviews*. Após a coleta dos dados foi realizada a análise bibliométrica com o auxílio da ferramenta *BibView*, que realiza a análise bibliométrica com os dados coletados na base de

dados Scopus® através da linguagem de programação R e o pacote Bibliometrix®. A ferramenta utilizada foi desenvolvida por Cavalca (2020). Em 2019, foi realizada uma pesquisa com a temática de lodo no Portal de Periódicos CAPES nos últimos 20 anos e feita a separação por tema, através do uso da curva ABC ou análise de Pareto (Silva, Achon e Isaac (2019).

## 2.2. Abordagem prática

Para uma análise geral da abordagem prática da destinação do lodo de ETA em nível nacional foi realizado um levantamento por meio de busca do assunto na base de dados do Sistema de Informações sobre Saneamento (SNIS) do ano de 2018 e Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nos anos de 2008 e 2017. Para uma análise localizada e mais detalhada, foi determinado uma região para ser utilizada como área de estudo, sendo a da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). A seleção dessa bacia foi definida devido à grande quantidade de informações disponíveis em estudos anteriormente realizados pela Agência das Bacias PCJ, Comitê das Bacias PCJ, Agência Reguladora (ARES) PCJ, sendo a mesma reconhecida nacionalmente pelos esforços empenhados na gestão dos recursos hídricos, servindo assim como modelo de atuação. As Bacias PCJ são compostas por 76 municípios, sendo sua maioria do Estado de São Paulo, com somente 05 municípios do Estado de Minas Gerais. Possui área de 15.377,81 km<sup>2</sup>, sendo que 92,45% encontram-se no Estado de São Paulo. A população residente é de 5.804.131 habitantes (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2018). Foi realizado um diagnóstico da destinação dos resíduos de ETAs nas Bacias PCJ através do Plano de Bacias e planos municipais de saneamento básico dos municípios pertencentes a essa região.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Análise Bibliométrica

A Figura 1 apresenta os países com maior número de publicações conforme análise bibliométrica. Os resultados da análise bibliométrica permitiu

identificar que o Brasil é o terceiro país no número de publicações sobre lodo de ETA, de acordo com as expressões utilizadas em cada pesquisa (A e B) desde 1965 até o fim de 2020.

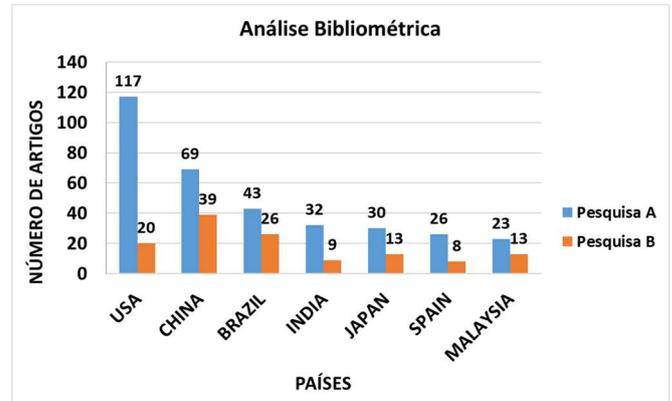


Figura 1. Resultados da análise bibliométrica por países segundo as Pesquisa A e B no período de 1965-2020

Na Figura 2 tem-se os trabalhos relacionados às palavras-chave, lodo e tratamento de água, no Portal de Periódicos CAPES, separados por tema, de acordo com Silva, Achon e Isaac (2019) considerando últimos 20 anos (1999 a 2019). Pode-se notar que de um total de 48 pesquisas encontradas, 25% estão mais focadas em matrizes cerâmicas, já o tema de gestão, representa apenas 6,25% das pesquisas.

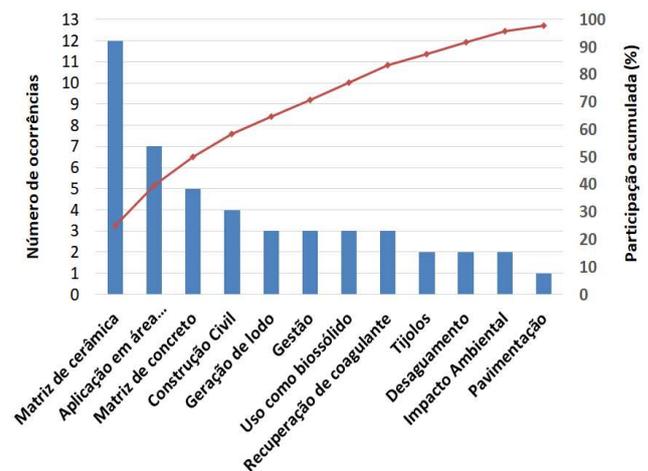


Figura 2. Artigos científicos separados por tema encontrados no Portal de Periódicos CAPES por Silva, Achon e Isaac (2019)

### 3.2. Abordagem prática

Conforme pesquisa no SNIS de 2018, foi evidenciado que alguns indicadores utilizam

informações sobre resíduos sólidos públicos, denominado pelo SNIS como RPU, que de acordo com a definição do SNIS são oriundos da varrição ou limpeza de logradouros públicos. Conforme a Lei 12.305/2010 os resíduos sólidos urbanos são constituintes de resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana. Assim, foi verificado que a definição das informações utilizadas para o cálculo dos indicadores do SNIS não atende as definições da Lei 12.305/2010, já que não foi encontrado nenhum indicador que englobe os resíduos dos serviços do saneamento, lodo de ETA (LETA) ou Água de lavagem de Filtro (ALAF). A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizou levantamento do destino do lodo gerado pelas ETAs no Brasil. Os resultados foram compilados e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Destino do lodo de ETA conforme PNSB

Destinação Final	2008	2017
Corpos d'água	68%	56%
Terreno, lixão ou aterro controlado	22%	13%
Aterro sanitário	4%	23%
Reaproveitamento*	2%	7%
Outros	4%	1%

\* Reaproveitamento em 2008 não foi especificado o tipo; Em 2017 foi considerado como reaproveitamento o destino para ETE, construção civil e agricultura.

Os resultados da PNSB revelam que a maioria das ETAs no Brasil, 56% em 2017, realizam a disposição do lodo em corpos d'água e apenas 7% fazem o reaproveitamento. O documento "Tomo I - Primeira Revisão do Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 a 2020", avaliou a destinação final do LETA para 55 municípios, correspondendo 98 ETAs em operação. A Figura 3 mostra que nas Bacias PCJ 41% das estações não possuem sistema de tratamento para os resíduos gerados, 23% não informaram e somente 26% possuem sistemas já implantados. Dos 76 municípios pertencentes às Bacias PCJ, 11 não possuem área urbana inserida dentro do território das bacias, e outros 3 possuem menos de 30% da sua área urbana nas bacias, sendo desinteressante para a avaliação das ETAs, sendo assim, foram considerados 62 municípios para a

avaliação dos planos municipais de saneamento. Do total, foram encontrados 46 planos, e destes 4 não possuem ETA.

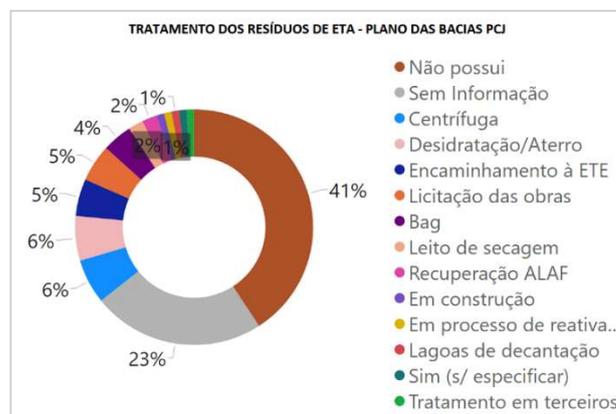


Figura 3. Tratamento dos resíduos de ETA conforme Plano das Bacias PCJ

Na Figura 4 tem-se os resultados do número de planos que informaram a destinação do LETA, e quais as destinações adotadas.

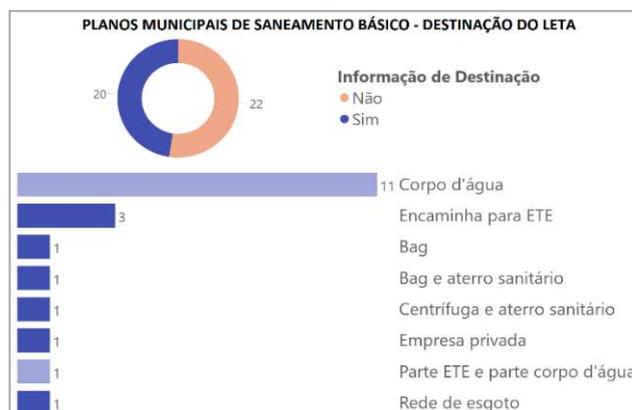


Figura 4. Destinação do LETA considerando 46 PMSB pertencentes a Bacia PCJ.

## 4. CONCLUSÕES, AGRADECIMENTOS E REFERÊNCIAS

Os resultados contemplados no desenvolvimento de trabalhos científicos demonstram que a aplicação do lodo em matriz de cerâmica, áreas degradadas, matriz de concreto e construção civil são os temas mais pesquisados atualmente no Brasil. Porém na prática, foi evidenciado que as práticas de uso benéfico ainda não estão sendo contempladas pelos municípios. Os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos não estão sendo cumpridos na prática. A problemática dos



resíduos de ETAs é um desafio para o setor, visto que na maioria, as informações sobre a destinação do LETA não estão inseridas nos PMSB e no SNIS.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, RJ. ABNT 2004.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Primeira Revisão do Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020. Relatório Final – Diagnóstico – Tomo I – Revisão 05**. Abr. 2018. Disponível em: <http://www.agencia.baciaspcj.org.br/novo/instrumentos-de-gestao/plano-de-bacias>. Acesso em: 20 maio 2019.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 31 de agosto de 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. **Lei nº 11.447, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, 5 de janeiro de 2007.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2 de agosto de 2010.

BRASIL. **Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 15 de julho de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicado no DOU nº 92, em 16 de maio de 2011, pág. 89.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas

sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, 2017.

CAVALCA, D. L. BIBVIEW – **Análise Bibliométrica**. 2019. Disponível em: <https://diegocavalca.shinyapps.io/bibView/>. Acesso em 23 dezembro 2020.

CORDEIRO, J. S. **Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs)**. In.: ANDREOLI, C .V. (Coordenador). Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB 2. 282 p. 2001

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2019. ISBN 978-85-240-4135-8.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017**. Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021. ISBN 978-65-87201-11-5

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série História**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretária Nacional de Saneamento. Disponível em < <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

## ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE LODO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM PERNAMBUCO

*Valderice Pereira Alves Baydum, Companhia Pernambucana de Saneamento,*

[valdericealves@compesa.com.br](mailto:valdericealves@compesa.com.br)

*Sergio Roberto Acioly Alves, Companhia Pernambucana de Saneamento,*

[sergioroberto@compesa.com.br](mailto:sergioroberto@compesa.com.br)

*Adelson Gomes do Prado, Companhia Pernambucana de Saneamento,*

[adelsongomes@compesa.com.br](mailto:adelsongomes@compesa.com.br)

*Joana Eliza de Santana, Companhia Pernambucana de Saneamento,*

[joanasantana@compesa.com.br](mailto:joanasantana@compesa.com.br)

*Felipe Lemes, Companhia Pernambucana de Saneamento,*

[felipelemes@compesa.com.br](mailto:felipelemes@compesa.com.br)

**Palavras Chave:** Resíduo, Estação de Tratamento de Efluentes de ETA, Modelagem

### 1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) são projetadas levando em consideração a qualidade da água bruta para atendimento ao produto final do tratamento, a água tratada. Durante o processo de tratamento de água um volume de água de lavagem e descarga de decantadores é gerada e demanda o gerenciamento e disposição final dos resíduos produzidos.

Para Achon et al. (2008) as estações de tratamento de água funcionam de forma semelhante a uma indústria onde a água bruta é a matéria-prima que será trabalhada através de diversos processos e operações e, que dará origem ao produto final que é a água tratada. Como todo processo industrial, o tratamento da água também gera resíduo (lodos) com as mais diferenciadas características e que necessitam serem dispostos adequadamente, pois caso contrário torna-se um problema ambiental. O resíduo gerado na ETA é proveniente da lavagem dos decantadores e filtros e, segundo Barroso & Cordeiro (2002), corresponde de 1% a 5% do volume de água tratada.

Estações de tratamento de água que operam por sistemas compactos de dupla filtração ou simples filtração geram resíduos líquidos provenientes das lavagens dos filtros, enquanto que sistemas convencionais além dos resíduos de lavagem de filtros também geram resíduos provenientes das descargas de decantadores. O resíduo sólido

gerado (lodo) de ETA é considerado de acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10004 (ABNT, 2004), como um resíduo sólido não perigoso e não inerte. (ABNT, 1987).

Os resíduos de uma ETA são compostos, em sua maior parte, de partículas, matéria orgânica, subprodutos oriundos da adição de compostos químicos e água. A quantidade de lodo produzido irá variar de acordo com alguns parâmetros ligados a características da água bruta, tais como partículas presentes na mesma (estimadas através de cor e/ou turbidez), e etapas do tratamento, como concentração e composição dos produtos químicos utilizados, forma de limpeza das unidades, entre outros (Richter, 2001). É recente a preocupação com a destinação dos resíduos, Ferreira e Sobrinho (1998). Assim, caracterizar o que está sendo gerado como resíduo poluidor, é o passo fundamental para implementar ações viáveis no combate à poluição e contaminação dos recursos naturais.

A proposta deste estudo é a quantificação do lodo, conhecendo-se os dados da água bruta e os produtos químicos utilizados, estimando a produção de lodo através de modelos propostos na literatura, quantificando aproximadamente o lodo produzido nas estações de tratamento de água do Estado de Pernambuco, visando melhor gerenciamento e disposição final do mesmo.

## 2. METODOLOGIA

A base de dados utilizada na pesquisa documental teve como fontes a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento).

A área de estudo foi o estado de Pernambuco, localizado geograficamente na Região Nordeste do Brasil, coordenadas 08°04' S e 37°15' W. O estado engloba o arquipélago de Fernando de Noronha, apresenta população total de 9.208.550 habitantes em uma área de 98.937,84 km<sup>2</sup> (IBGE, 2014).

### 2.1. Modelos empíricos

Foram aplicados os parâmetros das 216 ETA's nos modelos empíricos propostos:

#### a) Método CETESB

$$P = (86400 \times Q \times (0,23 \times D + 1,5 \times T)) \times 10^{-3} \quad (1)$$

Em que P é a estimativa de produção de sólidos em matéria seca (kg de matéria seca m<sup>-3</sup> de água bruta tratada); D é a dosagem de coagulante (mg L<sup>-1</sup>); T é a turbidez da água bruta (uT).

#### b) Método KAWAMURA

$$P = (D \times Fc1) + (T \times Fc2) \quad (2)$$

Em que P é a estimativa de produção de sólidos em matéria seca (kg de matéria seca m<sup>-3</sup> de água bruta tratada); D é a dosagem de coagulante (mg L<sup>-1</sup>); Fc1 é o fator dependente do número de moléculas de água associadas ao sulfato de alumínio proposto por Kawamura, que usualmente varia entre 0,23 a 0,26; T é a turbidez da água bruta (uT) e Fc2 é a razão entre a concentração de sólidos em suspensão totais presentes na água bruta e turbidez da mesma, faixa variante entre 1,0 a 2,0.

#### c) Método WRC

$$P = (86400 \times Q \times (1,2 \times T + 0,07 \times C + D + A)) \times 10^{-3} \quad (3)$$

Em que P é a estimativa de produção de sólidos em matéria seca (kg de matéria seca m<sup>-3</sup> de água bruta tratada); D é a dosagem de coagulante (mg L<sup>-1</sup>); Q

é a vazão em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, C é a Cor da água bruta (uH) e A é dosagem de aditivos em mg L<sup>-1</sup>.

#### d) Método CORNWEL

$$P = (86400 \times Q \times (0,44 \times D + 1,5 \times T + A)) \times 10^{-3} \quad (4)$$

Em que P é a estimativa de produção de sólidos em matéria seca (kg de matéria seca m<sup>-3</sup> de água bruta tratada); D é a dosagem de coagulante (mg L<sup>-1</sup>); Q é a vazão em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, T é a turbidez (uT) A é a dosagem de aditivos em mg L<sup>-1</sup>.

Os modelos empíricos para quantificação do lodo gerado em ETA utilizados estão citados por WRC (1996), Kawamura (1991), CETESB (1987) e Cornwell (2006), que consideram a turbidez, a vazão da água bruta e a dosagem de coagulante e inserem, também, o parâmetro Cor, ligado à particularidade dos períodos chuvosos onde há alteração significativa da água bruta, implicando no aumento da dosagem de produtos químicos.

Foi feito um levantamento de dados da água bruta, das 216 ETA's, tais como: Turbidez, Cor, Vazão e dosagem de coagulante para estimar a concentração de Sólidos em Suspensão Totais (SST) nos modelos empíricos utilizados.

## 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Estão representadas na Figura 1 o resultado médio de geração de lodo concentrado por unidades regionais das Matas, Agreste e Sertão (Interior) do Estado de Pernambuco e Região Metropolitana de Recife (RMR).



Figura 1. Estimativa da geração de lodo nas ETA's de Pernambuco.

Na Tabela 1 estão representadas a geração de lodo por Região do Estado de Pernambuco em ton/dia.



Tabela 1. Quantidade de lodo produzido por região (ton/dia).

Região	WCR	CETESB	CORNWEL	KAWAMURA
Sertão	27	32	34	28,7
Agreste	29,4	45,6	59,1	43,5
Matas	17,5	21,5	24,3	19,5
RMR	397	433,5	447	379,6

Observa-se que a Região Metropolitana do Recife concentra a maior quantidade de lodo do Estado de Pernambuco, isto se deve porque concentra os maiores volumes de produção e as ETA's com maiores capacidades de tratamento.

Verifica-se que os resultados obtidos pelo método da CETESB e CORNWEL apresentam valores de geração de lodo mais próximos enquanto que os métodos WCR e KAWAMURA apresentam valores de geração de lodo próximos, o método proposto por CORNWEL forneceu valores superiores, o que pode ser devido à esta fórmula empírica considerar, em seus cálculos, fatores de correção para a turbidez da água bruta maiores.

Na Tabela 2 estão representadas a geração de lodo e o número de ETA's correspondentes às respectivas faixas de geração de lodo em Kg/dia.

Tabela 2. Quantidade de lodo produzido por ETA's.

Geração de lodo (Kg/dia)	Número de ETA's
1-100	87
100-1000	95
1000-10000	26
10000 - 100000	8

O maior número de ETA's do Estado tem um potencial de geração de resíduos que não ultrapassariam 1.000 Kg/dia e apenas 8 ETA's concentram a maior geração de lodo, acima de 10.000 kg/dia.

Embora no interior do Estado de Pernambuco exista um número maior de ETA's, as ETA's da RMR, por serem de maior porte e vazão, concentram o maior volume de lodo gerado. Segundo os dados, 70% de todo o lodo gerado concentra-se em apenas 6 das 216 Estações de

Tratamento de Água, todas elas localizadas na Região Metropolitana de Recife.

Cerca de 70% das ETA's avaliadas são sistemas compactos de dupla ou simples filtração, apenas 30% dos sistemas operam por ciclo completo.

Sendo assim, o maior número de ETA's demandam sistemas e soluções que atendam um volume e geração de lodo que não ultrapassem 100 Kg/dia, ou seja, sistemas e soluções de tratamento de efluentes de pequeno porte, compactos que se adequem a área e características dos sistemas.

## 4. CONCLUSÕES

Através dos modelos empíricos utilizados no presente trabalho, foi possível observar a variação da produção de lodo de acordo com a região do estado, bem como, é possível avaliar os métodos que apresentam resultados muito próximos de geração de lodo.

A qualidade da água bruta influencia diretamente na geração de resíduos, e nas mesmas condições de turbidez e vazão, algumas regiões demonstraram maior ou menor geração de resíduos, havendo de considerar dentre outros aspectos a concepção do sistema, a dosagem do coagulante, Cor da água bruta, operação de lavagem dos filtros, que são determinantes para estimativa do volume de lodo gerado nos sistemas.

Além disto, este inventário apresenta um potencial de geração no Estado de em média cerca de 477 ton/dia, com grande parte desta geração ocorrendo na RMR.

Conhecer onde se concentra a maior parte de lodo gerado pode ser um importante instrumento para tomadas de decisões futuras, identificando onde se deve concentrar os esforços para que se obtenha uma maior efetividade quanto à mitigação do impacto ambiental da geração do lodo.

O estudo pode subsidiar o gerenciamento de resíduos sólidos quanto a logística de destinação e aplicação em diversos segmentos desde a incorporação na indústria cerâmica, bem como outras possibilidades de destinação.



## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) pela disponibilização dos dados.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10004: Resíduos sólidos – Classificação. 2. ed.** Rio de Janeiro, 2004.
- ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 2, p. 115-122.** 2013
- BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. “Estudo de caso - ETA São Carlos (São Paulo/Brasil) produção de sólidos em ETAs” Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental 2002. P. 1-9. 2002.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Indicadores de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB, 1987.**
- CORNWELL, D.A. **Water treatment residuals engineering. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association. (2006)**
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB).** Rio de Janeiro, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Perfil dos Municípios Brasileiros 2013.** Rio de Janeiro, 2014.
- KAWAMURA, S. **Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities.** Nova York: John Wiley & Sons. 720 p. 1991.
- RITCHER, C.A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo: Edgard Blucher. 112 p.** 2011.
- DILLON, G. **Application Guide to Waterworks Sludge Treatment and Disposal.** WRC, 1996

## **IMPACTOS GERADOS PELO ALUMÍNIO NO DESCARTE DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

*Marcos Pereira de Araújo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, marcoseng.unipe@gmail.com*  
*Soraya Giovanetti El-Deir, Universidade Federal Rural de Pernambuco, sorayageldeir@gmail.com*  
*Rosângela Gomes Tavares, Universidade Federal Rural de Pernambuco, rosangelagtavares@gmail.com*

**Palavras Chave:** Resíduos. ETA. Meio físico. Meio biótico.

### **1. INTRODUÇÃO**

Grande parte das Estações de Tratamento de Água (ETA) descartam os lodos gerados nos decantadores, nos corpos hídricos e em outra parte diretamente no solo, nos terrenos próximos às estações, sem qualquer tipo de tratamento. Alguns estudos destacam que esse tipo de resíduo pode ser usado na recuperação de áreas degradadas, na incorporação de materiais da construção civil e em solos agricultáveis (MOREIRA et al., 2011; TAKADA et al., 2013; FERREIRA et al., 2017; BITENCOURT et al., 2020).

Porém, o lodo gerado em ETA se caracteriza por conter grandes concentrações de metais, especialmente o alumínio, oriundos dos produtos coagulantes que são utilizados no processo de potabilização da água. Altos níveis de elementos tóxicos no lodo com alumínio, assim como os patógenos e poluentes organohalogênicos podem representar um risco potencial para a saúde humana. Sendo assim, é importante considerar que certas concentrações de alumínio presente nos resíduos de ETA podem ser prejudiciais e apresentarem toxicidade para a biocenose (HUSSEIN et al., 2021).

No contexto da entropia processual, percebe-se que o tratamento e a disposição final inadequados do lodo gerado em ETA podem ser vistos como uma perda processual porque interferem na qualidade do ambiente. Quando este resíduo não é tratado de maneira correta, passa a ter um potencial de causar efeitos negativos e, conseqüentemente, comprometer algumas espécies, assim como a qualidade do meio físico. Diante disso, este escrito busca contribuir para as discussões em relação ao descarte do logo gerado em ETA enquanto atividade impactante nos meios físico e biótico,

com ênfase para os possíveis efeitos do alumínio presente no resíduo.

### **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de cunho descritivo/exploratório, onde foi realizado um levantamento bibliográfico, a partir da compilação de dados provenientes da literatura especializada, objetivando identificar, compreender e definir os principais aspectos relacionados à temática estudada. Para a realização da análise, foi utilizado um método baseado na avaliação de impactos ambientais, onde foram verificados os aspectos relacionados à influência da atividade de lançamento de resíduos de ETA sobre os meios físico (solo e água) e biótico (fauna e flora). Vale destacar que a principal atividade impactante considerada neste escrito foi apenas o descarte do lodo de ETA, com ênfase nos possíveis impactos do alumínio presente neste resíduo. Nesse contexto, foram determinados os parâmetros que denotassem as possíveis características dos fatores impactantes.

Já os aspectos ambientais que são atingidos pelo impacto podem ser identificados qualitativamente a partir dos fatores descritivos relacionados à área de abrangência (local, regional ou estratégico), efeito (positivo ou negativo), repercussão (direta ou indireta), temporalidade (curto, médio ou longo prazo), permanência (temporária, permanente, cíclica) e reversibilidade (reversível ou irreversível), considerando as definições e características apresentadas por Cavalcanti, Paz e El-Deir (2013).

Na hierarquização, tendo como base a planilha de Tommasi (1994), considerou-se o grau dos impactos e dos efeitos da atividade sobre cada meio, analisando a seguinte escala: 0 – ausente; 1 – pequeno; 3 – moderado; 5 – extremo. Com isso,

foi realizada a classificação da atividade impactante sobre cada um dos meios analisados, levando em consideração a pontuação obtida pelo produto entre o peso do impacto pela nota do efeito no meio em específico. A partir disso, a classificação foi concretizada por meio dos seguintes parâmetros para os produtos obtidos: 0 – ausente; entre 1 e 8 – pequeno; entre 9 e 14 – moderado; entre 15 e 25 – extremo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores que denotam os impactos provenientes da atividade de lançamento dos resíduos gerados nas ETA sobre os meios físicos e bióticos, considerando a ação do alumínio presente nestes resíduos, a partir da identificação dos aspectos descritivos da atividade impactante (Quadro 1), foram identificados como tendo área de abrangência local, efeito negativo, com diferentes repercussões e temporalidades, podendo ser reversível, sob certos parâmetros. Já os fatores que definem o impacto são o volume, sinergia e persistência, em grande medida.

O processo de descarte do lodo de ETA diretamente no solo, sem qualquer tipo de tratamento, pode representar uma ameaça não só para este meio, como para as espécies presentes no ambiente. Analisa-se que, nesse caso, a abrangência desse impacto pode ser local, com efeitos negativos e repercussão direta,

principalmente quando avalia-se o problema na ótica das espécies vegetais que são cultivadas nesses ambientes. No caso da agricultura, por exemplo, o alumínio presente nos coagulantes e que conseqüentemente está no lodo depositado no solo, pode ser prejudicial para a cultura de hortaliças. Para as plantações, o metal não é um elemento essencial e, para a maioria dos vegetais, o excesso desta substância é tóxico. A inibição do crescimento da raiz, modificação celular nas folhas, morte foliar, clorose, púrpura e necrose foliar são manifestações típicas (TAVARES, 2016; CHEN et al., 2019; HUSSEIN et al., 2021).

Quando analisa-se a questão da saúde do corpo humano, é importante considerar que apresenta, normalmente, uma quantidade pequena de alumínio e a ingestão excessiva desta substância apresenta potencial nocivo, visto que altos níveis deste elemento químico podem ser associados a patologias consideráveis (XU et al., 2017; PURWANTI et al., 2019; DYKE et al., 2020; SHETTY et al., 2020).

A partir disso, a atividade de descarte do lodo passa a ter uma repercussão indireta, principalmente pela questão da biomagnificância associada aos metais. O problema deixa de ser visto como um impacto apenas no meio em que ocorre, passando a atingir as demais unidades ambientais relacionadas, diante das conseqüências e dos efeitos da atividade ao longo

Quadro 1. Aspectos e fatores relacionados à presença do alumínio no lodo de ETA descartado

		Meio físico		Meio biótico	
		Solo	Água	Fauna	Flora
<b>Aspectos descritivos da atividade impactante</b>	<b>Abrangência</b>	Local	Local	Local	Local
	<b>Efeito</b>	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
	<b>Repercussão</b>	Direta	Direta	Indireta	Direta
	<b>Temporalidade</b>	Curto a médio prazo	Curto a médio prazo	Médio a longo prazo	Curto prazo
	<b>Permanência</b>	Cíclica	Cíclica	Permanente	Permanente
	<b>Reversibilidade</b>	Reversível	Reversível	Irreversível	Irreversível
<b>Fatores que definem o impacto sobre o meio</b>		Volume, sinergia, persistência	Volume, sinergia, dispersão	Sinergia, persistência	Sinergia, persistência



do tempo, podendo ser definido pelos fatores de sinergia e persistência.

O lançamento do lodo diretamente em corpos hídricos pode acarretar diversos impactos, como o aumento da concentração de metais, desenvolvimento de condições anaeróbias em alguns tipos de água, redução do pH, liberação de odores, impacto visual (aumento de turbidez e cor) e toxicidade a organismos aquáticos (TAVARES, 2016; MOTTA SOBRINHO et al., 2019). Nesse contexto, a atividade impactante é definida por meio de fatores de volume, sinergia e dispersão, e continua tendo uma abrangência local, com efeitos negativos e repercussão direta, com temporalidade de médio prazo e uma permanência cíclica, caso a atividade seja repetida.

Verificando-se, portanto, os efeitos do descarte do lodo gerado em ETA, especificamente sobre a ação do alumínio presente no resíduo sobre o meio físico e biótico (Quadro 2), constatou-se que apresenta um grau de impacto extremo sobre o solo e sobre a flora, moderado em relação à água e pequeno quando considerada a fauna.

#### 4. CONCLUSÕES

Por meio dos aspectos apresentados neste escrito e considerando o fato de que os sistemas convencionais de tratamento de água utilizados, principalmente nos centros urbanos, geram resíduos, analisou-se que é necessário levar em consideração todos os fatores relacionados à destinação adequada destes, visto que, muitas vezes, podem comprometer a qualidade ambiental e o bem-estar das pessoas.

De acordo com a análise realizada, constatou-se que a prática do descarte do lodo de ETA sem tratamento pode comprometer a qualidade ambiental nos meios físico e biótico. Analisou-se que diversos fatores podem denotar impactos provenientes da atividade supracitada, os quais pode-se destacar a sinergia, o volume, a dispersão e a persistência, que variam de acordo com o meio observado.

Mediante a avaliação do descarte do lodo de ETA, especificamente considerando os possíveis efeitos do alumínio presente no resíduo, verificou-se que existem possibilidades de impactos extremos da atividade, tanto no meio físico, quanto no meio biótico. Vale destacar que, no meio físico, o solo se apresentou como o componente no qual a atividade foi classificada com um grau de impacto extremo, assim como no meio biótico, a flora.

Ressalta-se, portanto, que o alumínio, que compõe grande parte dos resíduos gerados em ETA, pode fixar-se no solo, comprometendo não apenas este componente, como também as espécies vegetais que se encontram no ambiente.

Nesse sentido, acredita-se que a Gestão Ambiental torna-se essencial para reverter o processo de perda no contexto da ETA, que é responsável pela produção do lodo, uma vez que esse gerenciamento pode contribuir para a diminuição da geração de resíduos. Além disso, é necessário que ocorra o cumprimento das legislações pertinentes ao processo de disposição final dos resíduos gerados nas estações de tratamento. Pode-se ainda citar a importância da definição de meios que visem o reaproveitamento do lodo.

Quadro 2. Classificação do grau de impacto do descarte do lodo gerado em ETA

Indicador	Tipo de dado	Meio físico		Meio biótico	
		Solo	Água	Fauna	Flora
Impacto	Peso (Pi)	5	3	3	5
Efeito da atividade	Nota (Ne)	5	3	1	5
Total	Pi x Ne	25	9	3	25
Classificação do grau de impacto		Extremo	Moderado	Pequeno	Extremo



## REFERÊNCIAS

- BITENCOURT, G. A.; SOUZA, G.; FRAZÃO, J. J.; APOLARI, J. P.; MONTEIRO, R. T. R. Uso do lodo de ETA no crescimento de Feijão Guandu e Milheto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 20, n. 1, p. 10-16, 2020. Disponível em: <http://revistabioterra.blogspot.com/p/bioterra-volume-20-n1-e-n2.html>. Acesso em: 11 dez. 2020.
- CAVALCANTI, N. S.; PAZ, Y. M.; EL-DEIR, S. G. Indicadores físicos para realização de estudo de impacto ambiental em cruzeiros oceânicos. In: IV International Workshop Advances in Cleaner Production, 2013, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2013.
- CHEN, Y.; LIN, H.; YAN, W.; HUANG, J.; WANG, G.; SHEN, N. Alkaline fermentation promotes organics and phosphorus recovery from polyaluminum chloride-enhanced primary sedimentation sludge. **Bioresource Technology**, v. 294, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122160>.
- DYKE, N. V.; YENUGADHATI, N.; BIRKETT, N. J.; LINDSAY, J.; TURNER, M. C.; WILLHITE, C. C.; KREWSKI, D. Association between aluminum in drinking water and incident Alzheimer's disease in the Canadian Study of Health and Aging cohort. **Neurotoxicology**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.04.002>.
- FERREIRA, A. C. S.; SILVA, J. B. G.; PEREIRA, R. O.; OLIVEIRA, A. P. S. Avaliação do desenvolvimento do capim Tifton cultivado em latossolo adubado com lodo de ETA. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 64-83, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2017.26466>.
- HUSSEIN, A. M.; MAHMOUD, R. K.; SILLANPÄÄ, M.; WAHED, M. S. M. A. Impacts alum DWTPs sludge discharge and changes in flow regime of the Nile River on the quality of surface water and cultivated soils in Fayoum watershed, Egypt. **Science of the Total Environment**, v. 766, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144333>.
- MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R.; NUNES, S. A.; PINHEIRO, L. A.; NASCIMENTO, C. T. C.; SILVA, D. R.; LIRA, C. P. Geochemical and Geophysical Study in a Degraded Area Used for Disposal of Sludge from a Water Treatment Plant. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1155/2011/489182>.
- MOTTA SOBRINHO, M. A.; TAVARES, R. G.; ARRUDA, V. C. M.; CORREA, M. M.; PEREIRA, L. J. R. Geração, tratamento e disposição final dos resíduos das estações de tratamento de água do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 761-771, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019175810>.
- PURWANTI, I. F.; KURNIAWAN, S. B.; ISMAIL, N.; IMRON, M. F.; ABDULLAH, S. R. S. Aluminium removal and recovery from wastewater and soil using isolated indigenous bacteria. **Journal of Environmental Management**, v. 249, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109412>.
- SHETTY, R.; VIDYA, C. S.; PRAKASH, N. B.; LUX, A.; VACULÍK, M. Aluminum toxicity in plants and its possible mitigation in acid soils by biochar: A review. **Science of the Total Environment**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142744>.
- TAKADA, C. R. S.; SERRA, J. C. V.; MAFRA, W. A.; BORBA, K. C. A. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água no município de Palmas-TO. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 157-165, 2013. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=860>. Acesso em: 15 jan. 2021.
- TAVARES, R. G. **Atenuação do alumínio do resíduo de estações de tratamento de água por vermicompostagem e adsorção**. 2016. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2016.
- TOMMASI, L. R. **Estudo de Impacto Ambiental**. São Paulo: CETESB/Terragraph, 1994.
- XU, H.; DING, M.; SHEN, K.; CUI, J.; CHEN, W. Removal of aluminum from drinking water treatment sludge using vacuum electrokinetic technology. **Chemosphere**, v. 173, p. 404-410, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.057>.

## LODO GERADO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

*Renata de Oliveira Pereira, Universidade Federal de Juiz de Fora, renata.pereira@ufjf.edu.br*  
*Monick da Silva Dutra, Universidade Federal de Juiz de Fora, monick.dutra@arquitetura.ufjf.br*

**Palavras Chave:** ETA, resíduos sólidos, georreferenciamento, tratamento de resíduos

### 1. INTRODUÇÃO

O consumo de água potável cresceu paralelamente ao aumento populacional. A demanda crescente por produtos, bens e serviços ocasionaram o aumento acelerado pelo consumo de água, aumentando conseqüentemente a geração de resíduos. A problemática do tema diz respeito ao cenário brasileiro nos últimos anos, tornando-se notório que em nosso país a situação do saneamento básico, no que tange o abastecimento de água, traz em seu escopo várias irregularidades, sendo uma delas o assunto tratado em questão, a produção e destinação final do lodo produzido nas ETA's, Estações de Tratamento de Água.

Segundo a ONU (2019) grande quantidade de resíduos ainda é disposta no meio ambiente sem que seja coletado ou tratado (Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019 *apud* WWAP, 2017). Para melhora da qualidade da água bruta e otimização operacional destas estações, uma maior dosagem de produtos químicos é aplicada durante o tratamento, aumentando a geração de resíduos, mais especificamente, do lodo formado na etapa de decantação juntamente com à água utilizada para a lavagem dos filtros.

Dados do IBGE (2010) indicam que em 2008 o Brasil possuía 5564 municípios, dos quais menos da metade possuíam leis para proteção dos mananciais utilizados para abastecimento, tendo em operação 6040 ETA's. Do total de municípios brasileiros, 37,7% (2098) geravam lodo nas estações, sendo que destes 2098 municípios, aproximadamente 67,4% (1415) dispunham os resíduos em corpos hídricos, em geral, sem

qualquer tipo de tratamento (DI BERNARDO, DANTAS, VOLTAN, 2012).

Para que a disposição do resíduo seja feita de maneira correta, é necessário que o lodo apresente características adequadas através de tratamentos. Este resíduo, segundo Cordeiro (1999), possui grande umidade, em geral, maior de 95%, e para que seja disposto de maneira adequada, se faz necessário a redução de seu volume, o que conseqüentemente, também reduz os custos com transporte, disposição final e os riscos que este poderia causar ao meio ambiente.

Tendo em vista a problemática em questão, faz-se necessário que o setor de saneamento ambiental tenha uma visão mais abrangente em relação ao sistema de tratamento de água, uma vez que há uma preocupação no âmbito internacional em se reduzir a quantidade de lodo produzido por estas estações, sendo esse resíduo reciclado ou reusado, dispondo apenas o que não puder ser aproveitado (IE/SP, 2008 *apud* ACHON, BARROSO E CORDEIRO, 2013).

Atualmente, o maior desafio da indústria de produção de água potável está na disposição final e tratamento deste resíduo, visto que, se faz necessário a aplicação de tecnologias atuais e de alto custo capazes de explorá-los e reciclá-los (RICHTER, 2001). Apesar do Lodo de Estação de Tratamento de água ser enquadrado como resíduo sólido pela NBR 10.004, não devendo ser lançado *in natura* sem devido tratamento prévio, no Brasil, este problema é recorrente, tendo este método de atuação como conseqüência, significativos impactos ao meio ambiente (ACHON, BARROSO E CORDEIRO, 2013).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Caracterização da área de estudo

A Bacia do Rio Paraíba do Sul é responsável por drenar uma das regiões mais desenvolvidas do país. Está localizada na região Sudeste e possui área de drenagem aproximada de 55.500 km<sup>2</sup> (Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2006).

A partir do levantamento bibliográfico a respeito do funcionamento das estações de tratamento de água, das tecnologias utilizadas que acarretam a geração do lodo, das propriedades do resíduo, bem como, das possibilidades de disposição adequada para o mesmo, foi delimitado o recorte da área e a busca por dados referentes às estações pertencentes a Bacia.

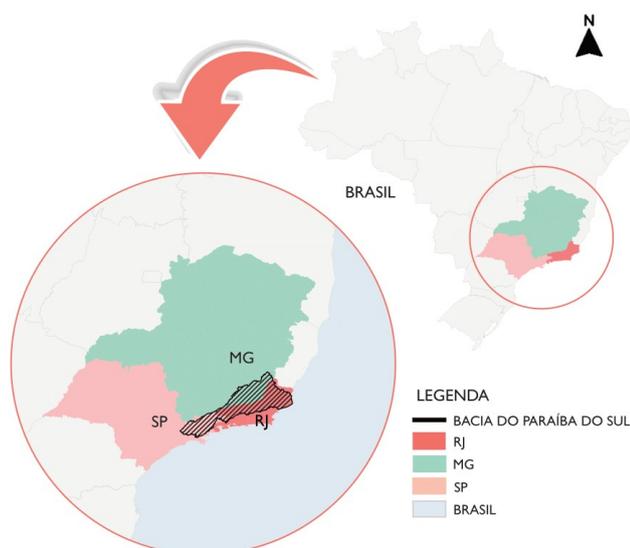


Figura 1. Localização da área de estudo.

A Bacia abrange parte do Estado de São Paulo, na região conhecida como Vale do Paraíba Paulista, parte do Estado de Minas Gerais, denominada Zona da Mata Mineira, e metade do Estado do Rio de Janeiro, tendo em toda sua extensão cerca de 180 municípios (Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2006).

De acordo com o Plano de Recursos hídricos da bacia, sua população estimada para o ano de 2005 era de 5.258.068 habitantes, sendo que desses, 2.264.070 vivem no Estado do Rio de Janeiro, 1.245.300 em Minas Gerais e 1.748.698 em São Paulo. Seu desenvolvimento vem acarretando a

degradação da qualidade de suas águas e redução de sua disponibilidade hídrica. (Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2006).

### 2.2. Coleta e tratamento dos dados

Como fonte principal para coleta de informações referentes as estações de tratamento de água, podemos destacar os Planos Municipais de Saneamento Básico. Foram consultados 48 planos, os quais serviram como base para extração de dados referentes a 51 municípios da bacia, como por exemplo, a tecnologia de tratamento utilizada por estas estações e, quando informado, a destinação final dada ao resíduo gerado. Além dos planos, também foram feitas consultas nos bancos de dados disponibilizados pelas companhias de saneamento básico responsáveis por cada estado ou município.

As informações referentes aos dados gerais e caracterização da bacia foram acessadas e extraídas através do site oficial da CEIVAP – Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, a qual é responsável por gerir seus recursos hídricos, elaborando estudos e estratégias que visam seu desenvolvimento sustentável.

Realizaram-se também buscas em outras fontes de dados, como por exemplo, no site do SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, no banco de dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, e no site oficial da ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, porém, neste primeiro não foram encontradas informações ao que se refere ao lodo gerado pelas estações de tratamento de água, enquanto no segundo e terceiro, o banco de dados encontrado era escasso e/ou desatualizado.

Sendo assim, com base na busca supracitada por estas informações, foi possível dar início ao mapeamento temático da área utilizando o programa de georreferenciamento ArcGis. Com o auxílio do software foi feita a demarcação georreferenciada das estações de tratamento de água da Bacia hidrográfica. As estações pertencentes a bacia foram demarcadas e classificadas de acordo com o tipo de tratamento utilizado. De acordo com o tipo de tratamento foi

identificado se há ou não geração do lodo. Ainda com base no tipo de tratamento, o lodo foi classificado como proveniente do decantador, da água de lavagem dos filtros, ou de ambos. Também se levantou, nas fontes já mencionadas, se há ou não algum tipo de tratamento e reutilização destes resíduos.

O mapeamento produzido contou com uma série de mapas relacionados a caracterização geral da área de estudo, como a localização da bacia e os estados a qual pertence, a demarcação das ETA's presentes, a caracterização destas estações destacando as produtoras de resíduo, bem como o tipo de resíduo que é gerado, além da demarcação das áreas da bacia com o maior índice de geração de lodo e com maior potencial de contaminação e reuso.

### 3. RESULTADOS

Identificaram-se 132 Estações de tratamento de água em 51 municípios da bacia, as quais 96 pertencem ao estado do Rio de Janeiro, 20 pertencentes ao estado de Minas Gerais e 16 localizadas no estado de São Paulo. De 53 municípios analisados no estado do Rio de Janeiro, pertencentes a bacia, 27 são considerados geradores de lodo. Na área que abrange o estado de Minas Gerais foram identificados 11 municípios geradores de lodo, enquanto no estado de São Paulo, de 39 municípios analisados, 13 são considerados geradores de lodo e de água de lavagem dos filtros.

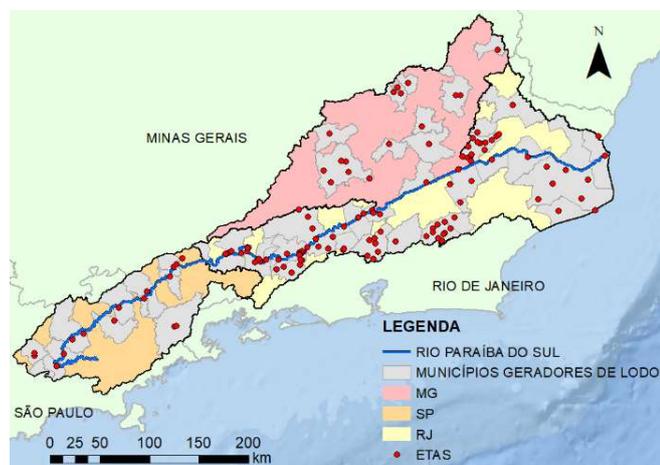


Figura 2. Mapeamento das Estações de Tratamento de Água presentes na Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Cerca de 80,30% das estações identificadas possuem o tratamento de ciclo completo, sendo que do total de 132 ETA's mapeadas, apenas 21,9% (29 ETA's) informa o que é feito com o lodo que é gerado e com a água de lavagem dos filtros produzida. Do total de estações mapeadas, apenas 4,54% declaram fazer o descarte adequado do resíduo gerado, incluindo para tal, o uso de leitos de secagem e bolsas drenantes.

De 29 ETA's que declaram o que é feito com o resíduo gerado, 23 afirmam que o descarte é feito *in natura* no meio ambiente sem devido tratamento prévio. Do total de estações, 78,1% não declaram o que é feito com os resíduos gerados.

No estado de Minas Gerais, de 20 estações analisadas, apenas 1 não gera lodo de decantador e água de lavagem dos filtros, enquanto no estado de São Paulo, de 16 estações analisadas, apenas 1 não gera lodo de decantador, enquanto todas geram água de lavagem dos filtros. No estado do Rio de Janeiro, por possuir um número maior de municípios geradores de lodo, a situação se agrava, sendo que de 96 estações analisadas, apenas 1 não gera água de lavagem dos filtros, enquanto 77 geram lodos em seus decantadores.

### 4. CONCLUSÕES

Foi possível observar a escassez de informações no que se refere ao tema em questão, principalmente por meio das bases de dados públicas, o que deixa evidente a necessidade da elaboração de estudos e abordagens da problemática, a qual é recorrente na maioria das estações de tratamento de água do país. Verifica-se também que de 132 estações analisadas, apenas 6 fazem o reuso ou descarte correto do resíduo gerado.

Espera-se poder contribuir para a compreensão da problemática na Bacia do Rio Paraíba do Sul, assim como direcionar mais estudos em relação as opções de tratamento e reaproveitamento dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água no Brasil.



## REFERÊNCIAS

- ACHON C.L.; BARROSO M.M.; CORDEIRO J.S. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro.** Eng Sanit Ambient. São Paulo, v.18, n.2, p.115-122. 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br>>. Acesso em: 10 de mar. de 2021.
- Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – AGEVAP. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul.** Fundação COPPETEC, 2006.
- BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Metais e sólidos: aspectos legais dos resíduos de estações de tratamento de água.** In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001, João Pessoa: Anais. 2001.
- COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – CEIVAP. Disponível em: <<https://www.ceivap.org.br/#>>. Acesso em: 10 de mar. de 2021.
- CORDEIRO, J. S. **Importância do tratamento e disposição adequada dos efluentes líquidos de ETAs.** In: REALI, M. A. P. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- DI BERNARDO L.; DANTAS A.D.B.; VOLTAN P.E.N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** 1ª ed. São Carlos: LDiBe Editora, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>>. Acesso em: 5 de mar. 2021.
- RICHTER, C.A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água.** São Paulo: Blucher, 2001.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <[www.snis.gov.br](http://www.snis.gov.br)>. Acesso em: 15 de marc. de 2021.
- WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos.** 2019. Disponível em: <[Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2019: não deixar ninguém para trás, fatos e dados - UNESCO Digital Library](#)>. Acesso em: 5 mar. 2021.

## QUANTIFICAÇÃO DO LODO GERADO DE DECANTADORES DA ETA DE GUARATINGUETÁ

*Paulo Ricardo Amador Mendes, Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá - SAEG, paulo.mendes@faroroseira.edu.br*  
*Ailton César Teles de Barros, Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá - SAEG, actbarros3@hotmail.com*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Quantificação, Decantadores

### 1. INTRODUÇÃO

A fim de atender as exigências legais para adequação da qualidade da água para o consumo humano é necessário que haja um processo de tratamento que seja capaz de remover todas as impurezas, microrganismos e substâncias nocivas à saúde do homem (HOWE et al., 2017).

As características físico-químicas da água bruta são um fator determinante para a escolha do tipo de tratamento a ser aplicado para atingir os padrões de potabilidade. Assim, a Resolução CONAMA 357/2005 classifica os corpos d'água e os respectivos tratamentos que podem ser empregados para cada uma delas. Para as águas doces de classes 2 e 3, por exemplo, devem ser empregados tratamentos convencionais (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção) e/ou avançados (processos com membranas, carvão ativado), dependendo da necessidade do uso da tecnologia (HOWE et al., 2017; LIBÂNIO, 2010).

Como todo processo industrial, durante o tratamento da água podem ser gerados resíduos sólidos com elevado potencial poluidor, denominado de **lodo**. Desde muito tempo o lodo gerado na estação de tratamento de água (ETA) é descartado de maneira inadequada em um corpo de água próximo que causa impactos ambientais severos ao ecossistema local, como por exemplo, a contaminação por microrganismos patogênicos, de metais potencialmente perigosos, de produtos químicos utilizados no tratamento da água, além de aspectos visuais e de odor desconfortáveis durante o processo de limpeza dos decantadores

ou da lavagem dos filtros (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; RICHTER, 2001).

Pode-se dizer que o maior volume de resíduo gerado de lodo está nos decantadores nas quais representam de 0,5 a 2,0 % do volume total produzido pela estação de tratamento, constituindo aproximadamente 70 % de todos os resíduos gerados (LIBÂNIO, 2010; RICHTER, 2001).

Assim, a partir do volume gerado do lodo, bem como o conhecimento das propriedades físicas são de vital importância para o dimensionamento de sistemas de tratamento e disposição do lodo, com o objetivo de minimizar e/ou mitigar os impactos causados pelo descarte incorreto do lodo (RICHTER, 2001).

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. Caracterização da ETA

Para o presente estudo de caso, a ETA da cidade de Guaratinguetá/SP capta água bruta de dois mananciais: Ribeirão dos Lemes, na Serra da Mantiqueira, e do Ribeirão Guaratinguetá. O tratamento realizado é do tipo convencional, com operação contínua de 24 h por dia, a uma vazão média mensal de 1713 m<sup>3</sup>/h (ou 475,7 L/s), abastecendo uma população estimada de 122.205 habitantes, em 2020 pelo IBGE.

A ETA dispõe de uma estação elevatória de água bruta que recalca a água bruta para a entrada onde recebe o coagulante químico (Policloreto de alumínio, PAC, 10,15 %m/m Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Basicidade livre: 64,50 %m/m, d = 1,252 mg.L<sup>-1</sup>) em uma calha Parshall com medidor ultrassônico de vazão. Após a adição, a água percorre uma calha para



homogeneização do coagulante. Ao final desta calha, água coagulada é distribuída igualmente por 4 sistemas idênticos de floculação e decantação. O sistema de floculação contém dois misturadores sequenciais com agitação mecânica de 5 rpm e 2 rpm, respectivamente. O decantador é retangular do tipo laminar e fluxo vertical, com sistema de módulos em ângulo de 45° em relação a entrada do mesmo. A água decantada é coletada em uma calha interligada aos 4 sistemas de floculação e decantação e conduzida a 4 filtros rápidos de fluxo descendente compostos por dupla camada de areia e carvão antracito, apoiados em cascalho.

A limpeza dos decantadores é feita manualmente por batelada, de maneira periódica a cada 30 dias e os filtros são lavados 2 vezes por dia por um sistema de retrolavagem com água tratada num intervalo de 5 a 7 minutos. O lodo gerado nos decantadores e as águas de lavagens são direcionados ao Córrego do Cacunda.

## 2.2. Análise dos dados históricos da ETA

Para os cálculos de volume de lodo gerado no ano de 2020, foram levantadas as informações históricas médias da ETA como a vazão captada, os valores de cor e turbidez da água bruta e as dosagens do coagulante químico utilizado (PAC). Os dados foram gentilmente disponibilizados pela empresa responsável pela ETA e analisados a partir do *software* Microsoft Excel®.

## 2.3. Modelo matemático empírico para determinação do volume de lodo gerado

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), a quantidade de sólidos gerados na ETA pode ser estimada empregando equações empíricas que levam em conta os parâmetros físico-químicos da água bruta e dosagens de produtos químicos, quando os dados de ensaios de tratabilidade (de decantação e de filtração) para a determinação experimental dos resíduos gerados na ETA (sólidos suspensos totais – SST) não estão disponíveis ou são inexistentes.

As Equações (1) e (2) mostram o modelo adotado para determinação do volume de lodo gerado quando são utilizados sais de alumínio com agente coagulante (ASCE - *American Society of Civil*

*Engineers*, 1996) e a correlação matemática adotada para sólidos suspensos totais (SST) e a turbidez da água bruta (LIBÂNIO, 2010), respectivamente.

$$P_{SS} = Q \times (4,89 \times D_{Al} + SST) \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$SST = b \times T \quad (2)$$

onde:

$P_{SS}$  = Produção diária de lodo (kg.d<sup>-1</sup>);

$Q$  = Vazão diária de água bruta captada (m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>);

$D_{Al}$  = Dosagem de sais de alumínio expresso como Al (mg.L<sup>-1</sup>);

SST = Sólidos suspensos totais (mg.L<sup>-1</sup>);

$b$  = 1,3 (adotado por Libânio (2010), quando não há dados experimentais para determinação);

$T$  = Turbidez (uT).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das informações fornecidas pela empresa referente ao ano de 2020, na Figura 1 é mostrado o histórico dos valores de cor e turbidez da água no decorrer deste ano, juntamente com os valores calculados de SST para água bruta, conforme a Equação (2).

Este comportamento é compatível com uma ETA típica presente no Brasil, nas quais os rios que normalmente já são turvos e estão mais susceptíveis a precipitações mais intensas que podem carrear substâncias que contribuem para o aumento dos parâmetros analisados. Os maiores valores de cor, turbidez e SST ocorrem justamente nos meses onde historicamente apresentam índices pluviométricos mais elevados, normalmente com valores superiores a 200 mm (CLIMATEMPO, 2021). Assim sendo, no mês de dezembro de 2020 foram constatadas maiores médias mensais de cor e turbidez, atingindo valores de 233,9 uC e 80,3 uT, respectivamente, e conseqüentemente o maior valor de SST (104,4 mg.L<sup>-1</sup>).

Em vista dos parâmetros de cor e turbidez da água bruta apresentarem valores superiores ao permitido pelo Anexo XX da Portaria nº 5/2017, do

Ministério da Saúde, a necessidade de aplicação de um coagulante químico se faz necessária (LIBÂNIO, 2010) e a partir disso, a Figura 2 vem mostrar o consumo mensal de PAC bem como as dosagens de PAC e alumínio (Al) empregadas no tratamento da água bruta. A dosagem de alumínio foi determinada com base nas características do PAC utilizado (KAMIWADA, ANDRADE, REIS, 2020).

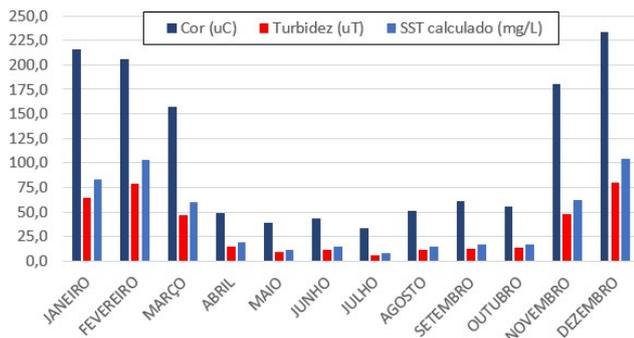


Figura 1. Valores médios mensais de cor, turbidez e SST calculado da água bruta afluenta a ETA de Guaratinguetá/SP, em 2020.

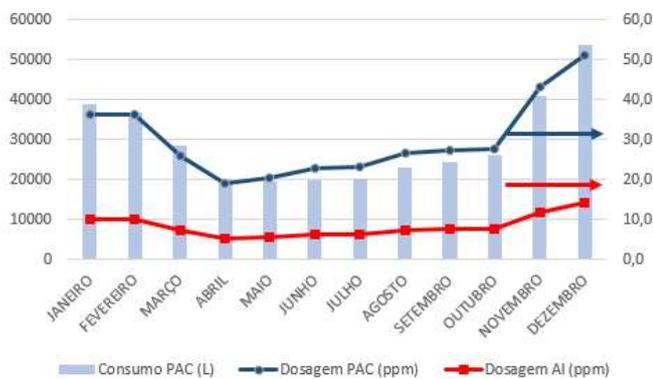


Figura 2. Valores médios mensais de consumo de PAC e de dosagem de PAC e alumínio calculado na água bruta afluenta a ETA de Guaratinguetá/SP, em 2020.

A partir da Figura 2 é possível observar que a quantidade de PAC empregada está diretamente relacionada com a turbidez e cor da água bruta, demonstrando que nos meses onde os valores médios desses parâmetros são mais elevados, o consumo de PAC, bem como a dosagem de PAC e AL foram maiores. Em destaque no mês de dezembro que apresentou os maiores valores de cor e turbidez, o consumo médio de PAC foi de 53823 L e a dosagem média de PAC e de AL empregadas foram de 51,2 ppm e 14,2 ppm.

A partir dos resultados apresentados nas Figura 1 e 2 foram estimadas as quantidades médias mensais de lodo gerado na ETA do município de Guaratinguetá/SP. OS resultados obtidos são mostrados na Figura 3.

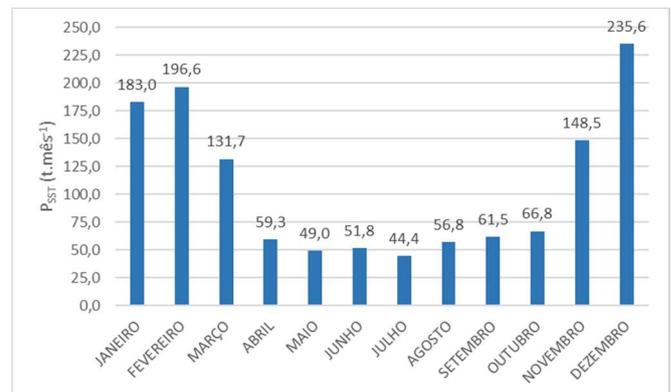


Figura 3. Estimativa média mensal de lodo gerado na ETA de Guaratinguetá/SP, em 2020.

Assim sendo, de acordo com a Figura 3 pode-se dizer que as maiores quantidades mensais de lodo foram geradas naqueles meses em que foram observados os maiores consumos de PAC e de maiores dosagens de PAC e Al. Em vista dos valores apresentados foi possível estimar a quantidade produzida de lodo no ano de 2020 que foi 1285 t.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir deste trabalho foi possível estimar de maneira satisfatória a quantidade de lodo gerada ETA do município de Guaratinguetá no ano de 2020 (1285 t). O valor estimado do lodo gerado reflete uma necessidade imediata de reaproveitamento, tratamento e/ou disposição adequada deste resíduo, visto que o mesmo é descartado sem qualquer tipo de tratamento.

Estudos posteriores sobre o lodo gerado nesta ETA ainda são necessários para um melhor conhecimento das propriedades físicas e reológicas deste lodo gerado para reaproveitamento em telhas e/ou tijolos, bem como o dimensionamento de sistemas de adensamento a fim de minimizar e/ou mitigar os impactos ambientais causados no corpo d'água receptor (Córrego do Cacunda).



## REFERÊNCIAS

- ASCE – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.  
**Management of water treatment plant residuals.** New York: Ed. American Society of Civil Engineers, 1996.
- CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Guaratinguetá, BR.** Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/449/guaratingueta-sp> Acesso em: 24/04/2021.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Volume 2. 2ª edição. São Carlos: RiMa, 2005.
- HOWE, K. J. et al. **Princípios de tratamento de água.** Tradução Noveritis do Brasil; revisão técnica Elvis Carissimi. São Paulo: Cengage, 2017. 599p.
- KAMIWADA, W. K.; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G. Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 667-676, 2020.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3ª edição, São Paulo: Editora Átomo, 2010.
- RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estação de tratamento de água.** 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2001. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração.** Rio de Janeiro, 2018.

## Avaliação de métodos de desaguamento de LETA – ETA Santa Bárbara (RS)

*Daniele Martin Sampaio, Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP),  
dmartinsampaio@gmail.com*

*Karen Gularte Peres Mendes, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), karperes@gmail.com*

*Laone Hellwig Neitzel, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), laoneneitzel@pelotas.ifsul.edu.br*

*Carlos Vinícius Caetano Gonçalves, Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP),  
vinciussanep@hotmail.com*

**Palavras Chave:** Lodo, resíduos de ETA, Pelotas, redução de volume

### 1. INTRODUÇÃO

A busca por soluções para minimizar os impactos e viabilizar a disposição adequada dos resíduos das Estações de Tratamento de Água (ETA) levou ao desenvolvimento de diversas técnicas. Conforme relatado por Ferranti (2006), é economicamente inviável destinar o lodo in natura para alguma empresa que o aceite como matéria-prima, já que o transporte se torna caro devido à grande quantidade de água, sendo necessário realizar a desidratação para reduzir seu volume. Cada técnica possui suas peculiaridades, vantagens e desvantagens e, por isso, deve ser avaliada conforme seu desempenho e seus gastos com investimento e funcionamento para selecionar a melhor alternativa (FERNANDES; SOUZA, 2001).

Nesse contexto, a presente pesquisa investiga o LETA da Estação de Tratamento de Água Santa Bárbara, localizada no município de Pelotas (RS), com desenvolvimento de propostas para redução de volume.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Área de estudo

Pelotas é um município da região sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, cujos serviços de saneamento básico definidos na Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007) são de responsabilidade da autarquia Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas – SANEP. A autarquia conta com 4 estações de tratamento de água de ciclo completo, sendo uma delas a ETA Santa Bárbara, cuja imagem aérea está apresentada na Figura 1, responsável por tratar as águas da Barragem Santa Bárbara.

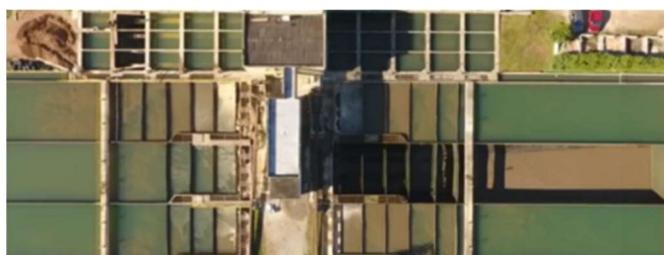


Figura 1. Imagens aéreas da ETA Santa Bárbara

Fonte: Divulgação – SANEP, 2019.

As fontes geradoras de resíduos em volumes mais significativos encontram-se no processo de limpeza dos decantadores (limpeza manual e mensal dos seis decantadores) e dos filtros. (limpeza por retrolavagem diária dos dez filtros).

O lodo dos decantadores, objeto de estudo desse trabalho, tem suas características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características do LETA

Itens e parâmetros	Valor	Unid.
Sólidos no lodo do decantador	6	%
Sólidos secos por volume	57,3	kg m <sup>-3</sup>
Massa de lodo por tempo	5,2	ton dia <sup>-1</sup>
Densidade do lodo	1050	kg m <sup>-3</sup>
Lodo gerado mensalmente	2700	m <sup>3</sup>
Lodo acumulado por decantador	450	m <sup>3</sup>

Fonte: Autoria própria

#### 2.2. Unidades de Desaguamento de Lodo Propostas (UDL)

As Unidades de Desaguamento de Lodo que foram propostas nesse trabalho baseiam-se em unidades que direcionam o lodo dos decantadores, após sua equalização e homogeneização, diretamente ao desaguamento final, sem necessidade de

adensamento devido à alta concentração de sólidos. A UDL é composta pelas etapas: (i) Tanque de equalização e homogeneização do lodo dos decantadores (TEHLeta); (ii) Operação unitária de desaguamento: Leito de secagem, Bag geotêxtil, Filtro prensa ou Decanter centrífugo.

### 2.3. *Análise tecnológica de desaguamento*

O processo de análise tecnológica de alternativas de desaguamento do LETA foi baseado na metodologia utilizada por Vanzetto (2012) para análise do lodo gerado em uma estação de tratamento de efluentes. Fundamenta-se na consideração de vários critérios utilizados na avaliação para mensurar o futuro desempenho dessas opções. O desafio é identificar, entre esses critérios, quais são relevantes para a tomada de decisão, objetivando uma solução que melhor se ajuste para a estação em questão.

A metodologia de análise foi elaborada baseando-se na construção de uma planilha que foi destinada à gestão do SANEP a fim de levantar, numericamente, a relevância de cada critério. Assim, os critérios foram pontuados, sendo que quanto maior o peso do item, mais importante o aspecto a que se refere.

Os critérios levados em conta para comparação entre as opções analisadas foram:

- *Custos de Implementação* – Há várias maneiras de se obter o custo de implantação das alternativas. Para tornar a avaliação mais completa, os equipamentos foram dimensionados e, na medida do possível, os custos foram estimados através de referências bibliográficas.
- *Custos de operação e manutenção* – As despesas em manutenção e operação podem ser um fator determinante na viabilidade de uma determinada alternativa, portanto a sua mensuração é extremamente relevante. Dessa forma, foram levados em conta diversos fatores na análise, como a demanda por mão de obra, necessidade de produtos químicos e instabilidade do processo.
- *Impactos negativos na implantação* – Serve para mensurar os impactos ou alterações que podem

ocorrer durante a fase de implementação do sistema de desaguamento.

- *Impactos negativos na operação* – Serve para mensurar os impactos ou alterações que podem se tornar preocupações a longo prazo, já que os possíveis problemas podem persistir toda a vida útil do projeto.
- *Proteção à saúde e segurança do trabalhador* – relacionado à segurança da operação – quanto maior o grau de manuseio, mais susceptível o operador está.
- *Demanda por energia elétrica* – O gasto com energia elétrica pode ser um fator limitante.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. *Dimensionamento do TEHLeta e das unidades de desaguamento*

Os decantadores da ETA Santa Bárbara são do tipo convencionais. São previstas descargas mensais de lodo com a equalização e homogeneização em um novo tanque que proporciona o recalque ao filtro prensa e decanter centrífugo. Ao todo, considerando 6 bateladas de descarga de cerca de 450 m<sup>3</sup> de lodo por batelada, o tanque foi projetado de concreto armado com capacidade de 600 m<sup>3</sup>.

As unidades de desaguamento mecânico – filtro prensa e decanter centrífugo – projetadas para descargas intervaladas de 5 dias de aproximadamente 450 m<sup>3</sup> de lodo, resultaram em uma vazão de alimentação operacional de 90 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> e um produto com 25 – 30% de umidade. Para as unidades de desaguamento natural – leitos de secagem e bags de geotêxtil – a área necessária de aplicação calculada foi de 1800 m<sup>2</sup>, com produto com cerca de 15% de umidade.

### 3.2. *Análise tecnológica*

A partir dos resultados da planilha preenchida pela equipe do SANEP, foram determinados os pesos a serem empregados na análise de multicritério, considerando-se os 6 critérios para análise.

Além do cenário estabelecido pela autarquia (cenário 1), foram considerados mais dois cenários: um priorizando a dimensão econômica,

onde somente os critérios de custos foram considerados (cenário 2); e outro com peso igual para todos os critérios, ou seja, sem priorização. Os resultados do preenchimento das planilhas pontuadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Avaliação das alternativas considerando os diferentes critérios e cenários

Critérios	Pesos escolhidos		
	Cenários		
	1	2	3
<b>1. Para o Leito de Secagem (LS)</b>			
<i>Custo de Implementação</i>	3,7	10,0	3,3
<i>Custo de Operação e Manutenção</i>	12,9	35,0	11,7
<i>Impactos negativos na implantação</i>	3,7	0,0	3,3
<i>Impactos negativos da operação</i>	8,6	0,0	7,5
<i>Proteção à saúde e segurança do trabalhador</i>	5,5	0,0	5,0
<i>Demanda por energia elétrica</i>	4,7	0,0	10,8
<b>2. Para o Bag Geotêxtil (BG)</b>			
<i>Custo de Implementação</i>	11,0	30,0	10,0
<i>Custo de Operação e Manutenção</i>	10,1	27,5	9,2
<i>Impactos negativos na implantação</i>	5,1	0,0	4,6
<i>Impactos negativos da operação</i>	13,0	0,0	11,3
<i>Proteção à saúde e segurança do trabalhador</i>	7,4	0,0	6,7
<i>Demanda por energia elétrica</i>	4,1	0,0	9,2
<b>3. Para o Decanter Centrífugo (DC)</b>			
<i>Custo de Implementação</i>	7,4	20,0	5,0
<i>Custo de Operação e Manutenção</i>	13,3	36,2	9,1
<i>Impactos negativos na implantação</i>	10,1	0,0	6,9
<i>Impactos negativos da operação</i>	12,2	0,0	8,0
<i>Proteção à saúde e segurança do trabalhador</i>	12,9	0,0	8,7
<i>Demanda por energia elétrica</i>	1,8	0,0	3,1
<b>4. Para o Filtro Prensa (FP)</b>			
<i>Custo de Implementação</i>	5,5	15,0	5,0
<i>Custo de Operação e Manutenção</i>	8,3	22,5	7,5
<i>Impactos negativos na implantação</i>	8,3	0,0	7,5
<i>Impactos negativos da operação</i>	12,2	0,0	10,7
<i>Proteção à saúde e segurança do trabalhador</i>	7,8	0,0	7,8
<i>Demanda por energia elétrica</i>	1,8	0,0	4,7

Cenários: (1) SANEP; (2) econômica; (3) sem priorização

Fonte: Autoria Própria

Para uma melhor análise das alternativas, foram elaborados gráficos para comparação das opções, conforme mostra a Figura 2.

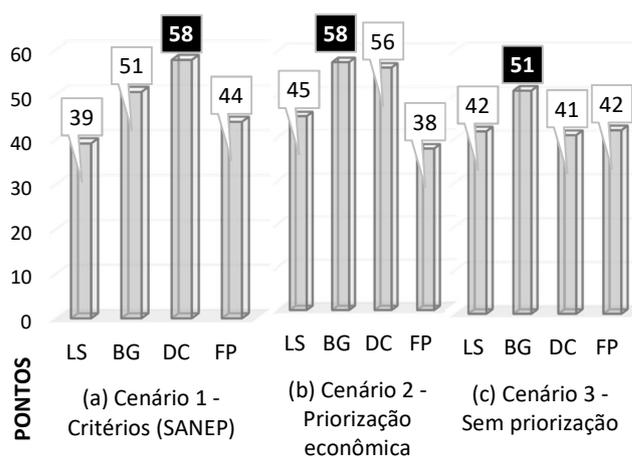


Figura 2. Comparação das tecnologias de desaguamento para os três cenários estudados.

Fonte: Autoria própria

Conforme as comparações mostradas na Figura 2, é notável a grande tendência de escolha dos bags de geotêxtil como alternativa adequada para o desaguamento, visto que, para os dois cenários mais simples de se analisar, a opção esteve mais bem pontuada. De encontro a isto, para atender as características da autarquia, os bags assumiram a segunda colocação, sendo a escolha mais adequada o decanter centrífugo, já que foi mais bem pontuado no cenário que considerou as características e o contexto da ETA Santa Bárbara, concordando com a análise realizada por Vanzetto (2012), que obteve os desaguamentos por bags e por decanter centrífugo os mais bem avaliados.

#### 4. CONCLUSÕES

A metodologia aplicada neste estudo possibilitou uma análise tecnológica de alternativas de desaguamento de lodo para a ETA Santa Bárbara. Sua contribuição principal foi a consideração de suas peculiaridades, expressa através dos dados coletados junto à equipe técnica do SANEP por meio de um questionário com critérios bem definidos para comparação de diferentes cenários.

Os dados adquiridos por meio da consulta têm uma importância adicional, já que podem servir para futuros estudos na área de desaguamento do lodo de ETA, tendo em vista a escassez de dados com essa abordagem na região.



## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm). Acesso 12 mai. 2021.
- FERNANDES, F; SOUZA, S. G. Estabilização de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba, PROSAB: 2001. p. 29 – 56.
- FERRANTI, E. M. **Desidratação de Lodos em Estação de Tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- SANEP. Vídeo (2 min). **Conheça o Departamento de Tratamento do SANEP**. Publicado pelo Canal SANEP Pelotas. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TtLwem8SB1E>. Acesso em 07 dez. 2019.
- VANZETTO, A. S. **Análise das alternativas tecnológicas de desaguamento de lodos produzidos em estações de tratamento de esgoto**. 185 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) — Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

## COMPARATIVO DE DESAGUAMENTO EM ENSAIO PILOTO ENTRE BOLSAS GEOTÊXTEIS COM E SEM DRENAGEM VERTICAL

*Matheus Müller, ITA, mrlmuller@gmail.com*  
*Delma de Mattos Vidal, ITA, delma@ita.br*  
*Eduardo Andrade Guanaes, Huesker, eduardo@huesker.com.br*  
*Márcia Regina de Freitas, Unesp, marcia.freitas@unesp.br*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Geotêxtil, Drenagem vertical

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de potabilização da água geralmente ocorre em estações de tratamento de água (ETA) e dentre seus tipos, no Brasil, geralmente nas de ciclo completo (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Estas estações geram resíduos úmidos, denominados lodo, formados comumente nos decantadores e filtros que resultam dos processos de limpeza da água.

O lodo é um material de difícil tratabilidade devido a sua umidade. Neste sentido, técnicas de desaguamento que promovam a saída da água, a retenção do particulado sólido e consequentemente o aumento do teor de sólidos, são interessantes (MÜLLER, 2019).

A técnica de desaguamento abordada neste estudo é com bolsa geotêxtil, também conhecida como Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR) (IGSBR 004, 2014).

Neste trabalho, duas bolsas de dimensões idênticas são comparadas através de ensaios piloto, avaliando parâmetros de desaguamento no tempo. Uma bolsa convencional e uma bolsa idêntica mas com drenos verticais internos em geotêxtil não tecido espesso foram submetidas a dois ciclos de preenchimento até a altura máxima admissível.

Objetiva-se avaliar principalmente a efetividade do dreno não tecido através da eficiência de desaguamento, buscando-se avaliar a possibilidade de um aumento mais rápido do teor de sólidos da bolsa modificada em comparação com a convencional.

### 2. CONCEITOS BÁSICOS

#### 2.1. Estação de tratamento de água (ETA)

ISBN 978-65-00-22350-7

Existem diversas tecnologias que podem ser aplicadas para o tratamento da água, tais como dupla filtração, filtração direta ascendente, floto-filtração e tratamento em ciclo completo (DI BERNARDO; DANTAS, 2005), as quais podem gerar quantidade e qualidade de lodo variadas.

Os ensaios nesta pesquisa utilizaram lodo de ETA de ciclo completo. O tratamento da água em uma ETA de ciclo completo abrange um pré-tratamento, coagulação e floculação, decantação, filtração descendente, desinfecção, fluoração e correção do pH (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Numa ETA de ciclo completo observam-se dois processos geradores de lodo, isto é, geradores de resíduos úmidos, que são a decantação e a filtração descendente.

Este lodo gerado deve ser corretamente tratado e destinado, representando riscos de assoreamento e impactos na fauna e na flora, caso incorretamente destinado a corpos hídricos.

#### 2.2. Sistema de confinamento de resíduos (SCR)

Um SCR é um tubo/bolsa geotêxtil tecido ou não tecido, compreendendo um sistema fechado em geotêxtil, com propriedades estabelecidas em função das características do efluente que se deseja desaguar, possuindo comprimento e perímetro customizáveis (CASTRO, 2005; KOERNER, 2005; PILARCZYK, 2000; TOMINAGA, 2010; VERTEMATTI, 2015).

O sucesso desta tecnologia foi proporcionado pela segurança oferecida na contenção dos resíduos e sua capacidade de reter a parte sólida enquanto permite a saída da parte líquida, possuindo boa

função filtrante (MOO-YOUNG; GAFFNEY; MO, 2002).

O processo de desague em um SCR é descontínuo e misto, ocorrendo mecanicamente por filtração forçada mediante a pressão de preenchimento e, após esta, por processo natural, deságue por peso próprio, drenagem e evaporação (MÜLLER, 2019).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais

Os materiais empregados na pesquisa foram lodo de ETA e bolsas em geotêxtil. Os ensaios foram realizados na ETA do DCTA em São José dos Campos, uma ETA de ciclo completo cujo condicionante químico para a coagulação é o Sulfato de Alumínio.

As bolsas para os ensaios piloto foram confeccionadas em um geotêxtil tecido com as propriedades principais indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos geotêxteis empregados.

Propriedade	Norma	Valor médio	CV <sup>1</sup> (%)
O <sub>90</sub> (μm) <sup>2</sup>	ABNT NBR ISO 12956	240	-
T <sub>n</sub> (kN/m)	ABNT NBR ISO 10319	105	5

As bolsas, com 2,5 m de comprimento e 2,5 m de perímetro, tinham um bocal de preenchimento de 0,3 m de altura e 0,3 m de diâmetro centralizado em sua parte superior. A altura máxima de enchimento de era de 0,5 m e o volume máximo da bolsa preenchida é de aproximadamente 1 m<sup>3</sup>. Ainda, uma das bolsas recebeu em sua seção vertical longitudinal, um dreno na forma de geotêxtil não tecido espesso drenante.

#### 3.2. Análise dos resultados

Diversas correlações são propostas na literatura, considerando as propriedades de fase do solo e suas relações (VERTEMATTI, 2015). Neste estudo o teor de sólidos por massa e a eficiência de desaguamento foram utilizados.

O teor de sólidos por massa pode ser descrito por:

$$TS_p = \left[ \frac{P_s}{P} \right] \times 100 \quad (1)$$

onde: TS<sub>p</sub> é o teor de sólidos da amostra [%]; P<sub>s</sub> é o peso dos sólidos na amostra [g]; e P é o peso total da amostra úmida [g].

A avaliação da eficiência de desaguamento foi o parâmetro escolhido para a análise de eficiência. Ela pode ser obtida comparando o percentual de sólidos final com o percentual de sólidos inicial (MOO-YOUNG; GAFFNEY; MO, 2002):

$$ED = \left[ \frac{TS_{p \text{ final}} - TS_{p \text{ inicial}}}{TS_{p \text{ inicial}}} \right] \times 100 \quad (2)$$

onde: ED é a eficiência de desaguamento (%); TS<sub>p inicial</sub> é a porcentagem de sólidos inicial (%); e TS<sub>p final</sub> é a porcentagem de sólidos final (%).

#### 3.3. Procedimento e ensaios

Para o preenchimento das bolsas, foi utilizada uma bomba submersível com vazões de trabalho máxima e mínima de, 1.970 L/h e 550 L/h. Para a situação estudada a vazão foi de 1.800 L/h (~30 L/min).

Através da bomba, o lodo de um dos decantadores da ETA foi direcionado, sem polimerização, para o interior das bolsas. Ambas receberam dois ciclos de preenchimento, estes espaçados de 4 dias para a bolsa com drenagem interna e 5 dias para a bolsa convencional, sempre respeitando a altura máxima de preenchimento (0,5 m).

O volume para cada preenchimento foi mensurado, considerando a vazão da bomba e o tempo de cada enchimento. Ainda, dados de altura foram coletados periodicamente durante o processo de deságue.

Ensaio de caracterização quanto ao teor de sólidos por massa do lodo de enchimento e da torta no tempo foram aferidos através de secagem em estufa e pesagens simples.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios piloto foram realizados através do preenchimento das duas bolsas com lodo proveniente do fundo de um dos decantadores da ETA do DCTA, com teor de sólidos médio por massa de 1,74% e com teor de finos de aproximadamente 16%.

As bolsas receberam dois ciclos de preenchimento cada, totalizando um volume admitido de 2,31 m<sup>3</sup> de lodo para cada bolsa. Os ciclos recebidos são representados na forma de alturas de enchimento e abatimento na Figura 1.

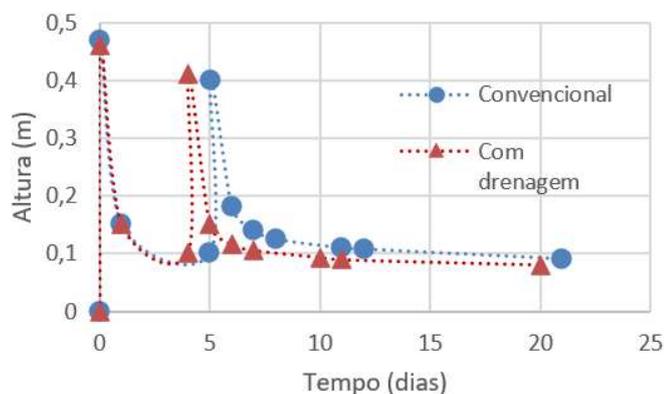


Figura 1. Alturas de enchimento e abatimento nos ciclos de deságue

Após o segundo ciclo de enchimento, amostras da torta do interior das bolsas foram levadas para a estufa, predizendo o teor de sólidos por massas no tempo, conforme dados dispostos na Tabela 2 e Figura 2.

Tabela 2. Teor de sólidos no tempo.

Bolsa Convencional		Bolsa com Drenagem	
Tempo t (dias)	Teor de sólidos TSp (%)	Tempo t (dias)	Teor de sólidos TSp (%)
0	1,74 ±0,15	0	1,74 ±0,15
12	16,3±0,4	12	15±1
21	23±3	21	25±4
28	26,4±0,8	28	26±4

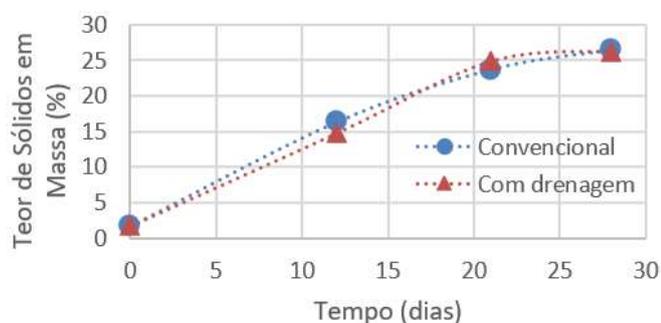


Figura 2. Aumento do teor de sólidos no tempo

De posse dos dados de alturas e teores de sólidos por massa é possível perceber que o dreno em

geotêxtil não tecido espesso drenante foi de pouca ajuda, ambos os sistemas apresentaram resultados de desempenho similares.

Por fim, através do cálculo das eficiências de desaguamento para os momentos abordados, foi possível confirmar a não efetividade do dreno, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Eficiência de desaguamento no tempo.

Bolsa Convencional		Bolsa com Drenagem	
Tempo t (dias)	Ef. Desaguamento ED (%)	Tempo t (dias)	Ef. Desaguamento ED (%)
0	0	0	0
12	839	12	748
21	1264	21	1330
28	1420	28	1409

## 5. CONCLUSÕES

Nos ensaios realizados a técnica de desaguamento com bolsas geotêxteis permitiu a colocação de um volume de lodo 2,3 vezes superior ao volume do SCR, proporcionando a rápida redução volumétrica do resíduo úmido e aumentando consideravelmente seu teor de sólidos, nas duas configurações avaliadas.

Apesar de uma redução na altura da bolsa apresentada após o segundo ciclo, os ensaios com a bolsa com os elementos drenantes não demonstraram ganho de eficiência ao desaguamento pelo uso de dreno interno na vertical, composto unicamente por geotêxtil não tecido, para situações com teor de finos equivalente.

Deste modo, recomendam-se ensaios futuros com outros tipos de drenos, e lodos para avaliar o interesse no uso destes elementos.

Finalmente, ressalta-se que o uso de técnicas de desaguamento é necessário para estações de tratamento de maneira geral, evitando o despejo incorreto de grandes volumes de lodo em corpos hídricos.



## AGRADECIMENTOS

À empresa Huesker pelo fornecimento dos geotêxteis empregados, e a ETA do DCTA pelo apoio nos ensaios.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **-NBR ISO 10.319. Geossintéticos - Ensaio de tração faixa larga.** Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **-NBR ISO 12.956. Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação da abertura de filtração característica.** Rio de Janeiro, 2013.
- CASTRO, N. **Sistemas tubulares para contenção de lodo e sedimentos contaminados.** 103 f. Dissertação de mestrado em infraestrutura aeroportuária – ITA, São José dos Campos, 2005.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** RIMA, 2. Ed. v. 1-2, São Carlos, 2005.
- IGSBR. **Recomendação 004: Aplicação de geossintéticos em áreas de disposição de resíduos.** Brasil, 2014.
- KOERNER, R.M. **Designing with Geosynthetics.** Pearson, 5 Ed., Upper Saddle River, NJ, 2005.
- MOO-YOUNG, H. K., GAFFNEY, D. A., MO, X., **Testing Procedures to asses the viability of dewatering with geotextiles tubes.** *Geotextiles and Geomenbranes*, V 20, pp 289-303, 2002.
- MÜLLER, M. **Efeito de diferentes configurações no deságue de lodos em sistemas de confinamento de resíduos em geotêxtil.** 107 f. Dissertação de mestrado em infraestrutura aeroportuária – ITA, São José dos Campos, 2019.
- PILARCZYK, K.W. **Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Costal Engineering.** 1st ed., A.A.Balkema, Netherlands, 2000.
- TOMINAGA, E. **Análise dos procedimentos para avaliação de desempenho de sistemas fechados com geotêxtil para desaguamento.** 127 f. Dissertação de mestrado em infraestrutura aeroportuária – ITA, São José dos Campos, 2010.
- VERTEMATTI, J.C. **Manual brasileiro de geossintéticos.** 2. ed., Blucher, São Paulo, 2015.

## DESAGUAMENTO DE LODO DE DECANTADOR EM SCRs EM GEOTÊXTIL NÃO TECIDO: ENSAIO PILOTO

*Maria Alejandra Aparicio Ardila, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), [maparicio@usp.br](mailto:maparicio@usp.br)*

*Leila Jorge Patrizzi, SAAE -São Carlos, [leila@saaesaocarlos.com.br](mailto:leila@saaesaocarlos.com.br)*

*Jefferson Lins da Silva, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), [jefferson@sc.usp.br](mailto:jefferson@sc.usp.br)*

**Palavras-Chave:** Lodo, Decantador, ETA, Desaguamento, Geotêxtil, SCRs

### 1. INTRODUÇÃO

O lodo de Estações de Tratamento de Água (ETAs) é gerado principalmente na lavagem de filtros (em termos volumétricos) e na descarga dos decantadores (em termos mássicos) (DI BERNADO e DANTAS, 2005). As características do lodo de ETA dependem de vários fatores, dos quais destacam-se: o tipo de manancial, a qualidade da água bruta, os produtos químicos aplicados nos sistemas de tratamento e as condições operacionais ou de projeto da ETA. Estas características podem ser divididas em função de sua importância e do objetivo do estudo, podendo-se classificar em: características ambientais (definidas pelas características físico-químicas) e características geotécnicas (CORDEIRO, 2001).

Dado que não existem normas específicas para realizar ensaios geotécnicos com lodo de ETA, os pesquisadores têm utilizado aquelas destinadas aos solos, as quais devem sofrer algumas modificações para atender as características do lodo (MONTALVAN, 2016). A caracterização geotécnica do lodo é necessária para evidenciar possíveis formas de remoção de água (desaguamento) e de reaproveitamento dos sólidos resultantes. Alguns parâmetros geotécnicos avaliados no lodo de ETA são: tamanho e distribuição das partículas, limites de plasticidade e de liquidez, resistência específica, respostas ao aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade (CORDEIRO, 2001).

As tecnologias de desaguamento de lodo de ETA podem ser classificadas segundo o tipo de sistema de desaguamento, em mecânico ou natural. Cada técnica de desaguamento possui suas características, vantagens e desvantagens e vários fatores devem ser considerados, podendo ser citados: os custos (de implantação, operação e

manutenção), área disponível para instalação, transporte do lodo até o local de desaguamento, condições climáticas, necessidade de pessoal qualificado na operação, condicionamento químico, entre outros (CORDEIRO, 1999; DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012). Entre as tecnologias mecânicas estão a centrífuga e os diferentes tipos de filtro prensas. Por outro lado, nas tecnologias com sistemas naturais estão as lagoas, os leitos de drenagem, leitos de secagem e finalmente os Sistemas de Confinamento de Resíduos (SCRs) em geotêxtil. Em comparação com as outras tecnologias naturais, os SCRs em geotêxtil apresentam uma menor dependência das condições meteorológicas por serem sistemas fechados (GUIMARÃES; URASHIMA; VIDAL, 2014). Além disso, os SCRs destacam-se por oferecer uma série de vantagens tanto técnicas quanto econômicas (KOERNER e KOERNER, 2006; LAWSON, 2008; SATYAMURTHY e BHATIA, 2009; APARICIO ARDILA et al. 2020).

O presente trabalho apresenta o monitoramento de um ensaio piloto adaptado da norma ASTM D7880, no qual foi empregada uma bomba injetora para o enchimento do sistema. O objetivo deste ensaio foi analisar o desempenho do SCRs no desaguamento de lodo de decantador *in natura* (sem aplicação de polímero coagulante) em uma bolsa fabricada em geotêxtil do tipo não tecido. Sendo que este tipo de geotêxtil é diferente do geotêxtil estabelecido para o desaguamento de lodo na norma técnica SABESP NTS 301 (SABESP, 2015). Também são apresentadas algumas características físico-químicas e geotécnicas da amostra de lodo coletada na lavagem dos decantadores da ETA de estudo, localizada na cidade de São Carlos-SP.

## 2. MATERIAIS

### 2.1. Geotêxtil

Para o ensaio piloto foi selecionado um geotêxtil não tecido de poliéster de fibra cortada, amplamente empregado no desaguamento de diferentes resíduos industriais. As propriedades características do geotêxtil foram medidas no Laboratório de Geossintéticos da EESC-USP e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades características do geotêxtil.

Propriedade	Norma	Valor médio
$O_{90}$ ( $\mu\text{m}$ ) <sup>1</sup>	ABNT NBR ISO 12956	52,00
$\mu$ ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) <sup>2</sup>	ABNT NBR ISO 9864	612,00
$T_g$ (mm) <sup>3</sup>	ABNT NBR ISO 9863-1	3,96

<sup>1</sup> abertura de filtração.

<sup>2</sup> massa por unidade de área.

<sup>3</sup> espessura.

### 2.2. Lodo

O lodo empregado foi coletado na lavagem de um dos decantadores da ETA Vila Pureza, a qual é uma ETA do tipo convencional e trata uma vazão média de 480 L/s. A amostra de lodo tinha um teor de sólidos médio de 6,2%. Foram determinados os parâmetros geotécnicos de massa específica dos sólidos e a granulometria (NBR 7181 e NBR 6458). O lodo apresentou massa específica dos grãos de  $2,5 \text{ g}/\text{cm}^3$  e distribuição de tamanho dos grãos de: 2 % de areia, 46 % de silte e 52 % de argila. Algumas das características físico-químicas do lodo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas do lodo.

Parâmetro*	Norma	Valor médio
Alumínio Total (mg/kg)	EPA 200.7	124,30
Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	SM2510B	207,00
DQO (mg/Kg)	SM5220D	12400,00
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	SM4500 O - G	< 0,10
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/Kg)	SM2540C	97352,00
Sólidos Suspensos Totais (mg/Kg)	SM2540E/G	29100,00
pH	SM4500 H+	6,77

\*Parâmetros fornecidos pela ETA.

## 3. METODOLOGIA

A metodologia de ensaio foi adaptada da ASTM D7880 com uma bolsa de 0,5x0,5m. A amostra coletada foi homogeneizada com ajuda de uma

haste conectada a uma furadeira (Figura 1.a). Posteriormente, o lodo foi inserido no interior da bolsa, em dois ciclos de enchimento com uma bomba injetora com pressão máxima de 118 m.c.a (Figura 1.b). Inicialmente foram inseridos 20 l de lodo no sistema, e nas 24 h seguintes foram inseridos 10 l de lodo. O desaguamento foi monitorado durante uma semana com a medição do volume percolado (retido no reservatório de coleta) em diferentes intervalos de tempo. No final do monitoramento (após 7 dias) a bolsa foi aberta (Figura 1.c) para determinar o teor de sólidos retido dentro do sistema.

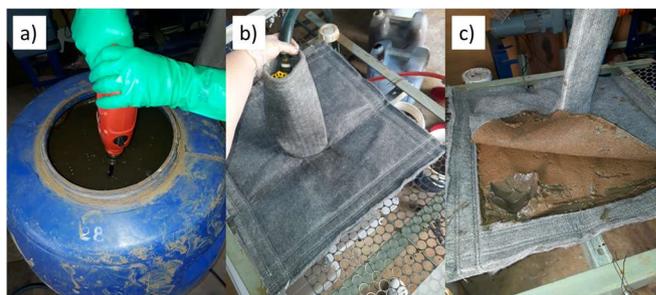


Figura 1. Metodologia de ensaio.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 é apresentada a evolução do desaguamento em função do volume percolado, onde também é observado o segundo enchimento (24 h após o início do ensaio).

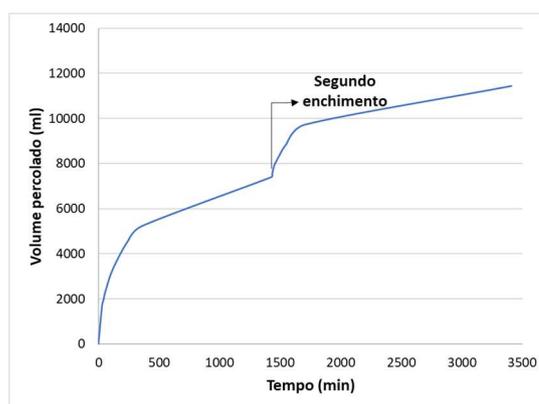


Figura 2. Evolução do desaguamento.

Durante o monitoramento observou-se que após 57 h de ensaio não houve volume retido no reservatório de coleta, o que indica que o desaguamento passou a ser governado pela evaporação, pois após o enchimento, e com o



alívio da pressão, o processo de evaporação torna-se cada vez mais relevante à medida que vão se formando zonas insaturadas dentro do sistema (MÜLLER e VIDAL, 2019).

Em relação ao teor de sólidos dentro do sistema, observou-se que este passou de 6,2% a 15,6%, sendo este aumento significativo considerando o curto período em que a bolsa permaneceu fechada.

## 5. CONCLUSÕES

Analisando a evolução de teor de sólidos dentro do sistema (aumento de 252%) no curto período analisado (7 dias), e ainda a não utilização de polímeros coagulantes, conclui-se que o sistema de desaguamento proposto tem um alto potencial de utilização para ETAs. Para trabalhos futuros, destaca-se a necessidade de quantificar a influência da evaporação no desaguamento do SCRs.

## AGRADECIMENTOS

Ao SAAE – São Carlos, por permitir a coleta de lodo do decantador e pelo fornecimento de informações do lodo. À Ober, pela doação da bolsa geotêxtil.

## REFERÊNCIAS

- APARICIO ARDILA, M. A. et al. Geotextile Tube Dewatering Performance Assessment: An Experimental Study of Sludge Dewatering Generated at a Water Treatment Plant. *Sustainability*, v. 12, n. 19, p. 8129, 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D7880. Standard Test Method for Determining Flow Rate of Water and Suspended Solids Retention from a Closed Geosynthetic Bag**. West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm- Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7181: Solo-análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO 9863-1. Geossintéticos – Determinação da espessura a pressões especificadas - Parte 1: Camada única**. Rio de Janeiro, 2013.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO 9864. Geossintéticos – Determinação da massa por unidade de área**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12956. Geotêxteis e produtos correlatos – Determinação da abertura de filtração característica**. Rio de Janeiro, 2013.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Norma Técnica NTS 301. Saco geotêxtil para desaguamento de lodo**. São Paulo, 2015.
- CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, p. 1–18, 1999.
- CORDEIRO, J. S. Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). **Andreoli, CV, Coord., Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e disposição final, Projeto PROSAB**, v. 2, p. 121–142, 2001.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª edição (Volume 2) São Carlos: Rima, 2005. 792 p.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. Editora LDiBe, São Carlos – SP, 2012. 540 p.
- GUIMARÃES, M. G. A.; URASHIMA, D. C.; VIDAL, D. M. Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems. *Geosynthetics International*, v. 21, n. 5, p. 310-320, 2014.
- KOERNER, G. R.; KOERNER, R. M. Geotextile tube assessment using a hanging bag test. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 24, n. 2, p. 129-137, 2006.
- LAWSON, C. R. Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. *Geosynthetics International*, v. 15, n. 6, p. 384-427, 2008.
- MONTALVAN, E. L. T. **Investigação do comportamento geotécnico de misturas de solo arenoso com lodo da Estação de Tratamento de Água Cubatão**. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- MÜLLER, M.; VIDAL, D. Comparison between Open and Closed System for Dewatering with Geotextile: Field and Comparative Study. *Int. J. Civ. Environ. Eng.*, v. 13, p. 634-639, 2019.
- SATYAMURTHY, R.; BHATIA, S. K. Effect of polymer conditioning on dewatering characteristics of fine sediment slurry using geotextiles. *Geosynthetics International*, v. 16, n. 2, p. 83-96, 2009.

## DESAGUAMENTO DE LODOS DE ETAs: EXPERIÊNCIAS BEM-SUCEDIDAS EM LEITO DE DRENAGEM

Antonio Omar Fontana, Port Engenharia Ltda., fontana@porteng.com.br  
 João Sergio Cordeiro, UFSCar e Allevant Educação, cordeiro.js@gmail.com  
 Cali Laguna Achon, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), caliachon@ufscar.br  
 Marcelo Melo Barroso, Instituto Abraço, marcbarroso@gmail.com  
 Renan Felício dos Reis, Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Câmpus São Roque,  
 renan.felicio@ifsp.edu.br

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Leito de Drenagem, Geotêxtil

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui 5.570 municípios, sendo a grande maioria destes com população de até 100.000 habitantes que concentra cerca de 43% da população, destacando-se que cerca de 88% dos municípios possuem população com até 50.000 habitantes (IBGE, 2021). Em 1999, o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) em seu primeiro edital definiu o tema “*Técnicas de Tratamento de Despejos Líquidos de Estações de Tratamento de Água*” com objetivo de fomentar redes de pesquisas na área e gerar soluções e tinha como propósito, pesquisar soluções para os lodos gerados em ETAs (LETAs), com aporte financeiro da FINEP, CNPq, CAIXA, CAPES a apoio da ABES e SEPURB (CORDEIRO, 1999 e 2001). Cordeiro (2001), na segunda edição do PROSAB, propôs alterações na concepção dos sistemas tradicionais e naturais de desaguamento de LETA, removendo a camada filtrante de areia e incluindo geotêxtil, cujo sistema foi denominado Leito de drenagem (LD). Os estudos evoluíram com Achon e Cordeiro (2003); Fontana (2004); Achon, Barroso e Cordeiro (2005); Barroso (2007); Achon, Barroso e Cordeiro (2008) e Reis (2011); e Cordeiro *et al.* (2014). A evolução das pesquisas relacionadas ao desaguamento de LETA, usando Leito de Drenagem, com aplicabilidade em municípios de pequeno e médio porte, foram compilados por Achon, Cordeiro e Reis (2020).

### 2. ASPECTOS GERAIS

#### 2.1. Evolução dos estudos

Os Leitos de Drenagem (LD) se inserem dentro desse contexto de pesquisa, evoluindo a partir do PROSAB 1 e 2 (CORDEIRO, 1999 e 2001). Na Figura 1 pode-se verificar a evolução dos experimentos de desaguamento de LETA em relação à estrutura tradicional do leito de secagem, que tem como meio filtrante a areia. O sistema modificado 1, propôs a remoção dos tijolos, redução da camada de areia e brita, e uso de geotêxtil (manta). Já o sistema modificado 2, removeu toda areia, usando apenas o geotêxtil (manta) como meio filtrante, e reduzindo ainda mais a altura da camada de brita, que funciona como meio suporte e camada drenante.

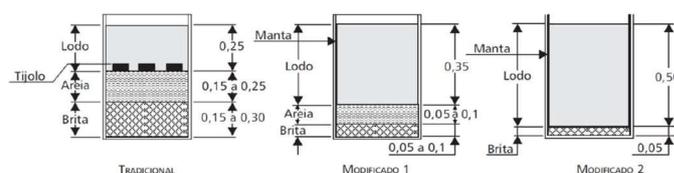


Figura 1. Evolução dos experimentos de desaguamento de lodo de ETA. Fonte: Cordeiro, 2001.

Na Figura 2 observa-se o volume filtrado em função do tempo para os ensaios de desaguamento (filtragem) de LETA, para os sistemas Modificado 1 e 2. Os resultados demonstraram que a evolução do volume filtrado acumulado foi extremamente significativa no Modificado 2, sendo que este sistema passou a ser denominado Leito de Drenagem (LD), devido esta

capacidade de filtragem (drenagem) e operação bem mais relevante no início do desaguamento do LETA.

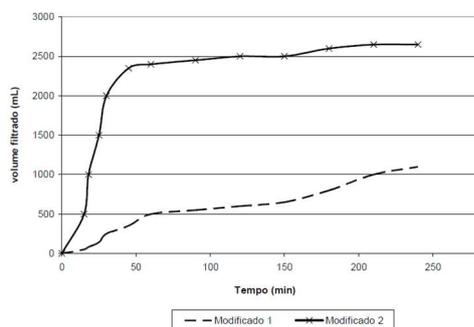


Figura 2. Resultado dos ensaios de desaguamento (filtragem) de LETA para o sistema Modificado 1 e 2. Fonte: Cordeiro, 2001.

## 2.2. Dos experimentos à prática

A partir das pesquisas desenvolvidas em laboratório, Achon e Cordeiro (2003) implantaram um projeto piloto de LD para desaguamento de LETA na ETA de Rio Claro – SP, como mostrado na Figura 3, em que se pode verificar o desaguamento do lodo e a qualidade do drenado. O sistema operou em ETA de ciclo completo de vazão de 500 L/s utilizando o lodo do decantador convencional.



Figura 3. Leito de Drenagem em escala piloto na ETA de Rio Claro – SP. Fonte: Achon e Cordeiro (2003).

Na sequência, Fontana (2004) em sua pesquisa implantou o primeiro sistema em escala real, na ETA do município de Cardoso-SP, gerenciado pela SABESP, que resultou na Dissertação de Mestrado junto ao PPGEU/UFSCar. Em operação desde 2004, o sistema se comportou tal como as pesquisas em bancada e em protótipos utilizados (Figura 4). Após estas pesquisas e experiência exitosa em escala real, comprovando os resultados em laboratório e piloto, foram implantados outros sistemas, cujos resultados serão apresentados neste trabalho, em diferentes ETAs.



Figura 4. Leito de drenagem em escala real na ETA Cardoso – SP. Fonte: Fontana (2004).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Estações de Tratamento de Água (ETAs)

Este trabalho analisou o funcionamento dos Leitos de Drenagem implantados em ETAs com diferentes características e condições de funcionamento. Na Tabela 1, apresentam-se dados das 6 (seis) ETAs estudadas nos municípios de Cardoso (Sabesp), Guaira (DEAGUA), Monte Aprazível (Sabesp), Nhandeara (Sabesp), Penápolis (DAEP) e Viradouro (SAE) no estado de São Paulo.

Tabela 1. Características das ETAs que implantaram o Leito de Drenagem (LD) em escala real.

ETA	Pop. (hab.)	Vazão (L/s)	Coagulante	Volume de Lodo gerado (m³/mês)	Intervalo de remoção de lodo (dias)	Volume de ALAF (m³/dia)
1	11.721	25	Sulf. Al.	60	30	14,5
2	39.061	130	PAC	260	80	506
3	23.458	47	Clor.Fe	105	60	ND
4	10.782	25	PAC	30	30	ND
5	63.757	290	PAC	960	60	30
6	18.347	80	PAC	600	40	160

ND- Não disponibilizado. ALAF – Água de lavagem de filtros

### 4.2 Leitos de Drenagem implantados nas ETAs

A ETA pioneira na implantação de LD em escala real foi a ETA de Cardoso-SP, por Fontana (2004). Nesta concepção, o geotêxtil utilizado foi tecido de poliéster, de referência comercial MT 600, com densidade superficial de 600 g/m<sup>2</sup>, abertura de 0,06 a 0,13 µm e espessura de 4,4 mm. O Leito de Drenagem da ETA Cardoso, demonstrou elevado desempenho no desaguamento, com redução de 98% do volume de resíduos e qualidade do drenado quanto à turbidez, pH, série de sólidos e DQO, conforme Tabela 2, segundo Barroso (2007).

Tabela 2. Características do lodo bruto e do líquido drenado no LD da ETA Cardoso. Fonte: Barroso (2007).

Parâmetros	Lodo bruto (decantador)		Líquido Drenado	
	2003	2004	2003	2004
	Turbidez (uT)	-	-	0,7
pH	6,6	7,0	6,6	6,8
Sólido sedimentável (mg/L)	860	850	0,08	0,03
Sólido total (mg/L)	98397	28263	261	285
Sólido fixo (mg/L)	30368	20032	102	107
Sólido volátil (mg/L)	68029	8231	159	178
Sólido suspenso total (mg/L)	25150	28400	18	14
Sólido suspenso fixo (mg/L)	1200	5350	5	4
Sólido suspenso volátil (mg/L)	23950	23050	13	10

Na Tabela 2 pode-se observar que o lodo bruto apresenta concentração de sólidos totais (ST) variável (98.397 mg/L e 28.263 mg/L), mesmo assim, a turbidez do líquido drenado foi abaixo de 1 uT (0,7 e 0,9 uT) e a concentração de ST abaixo de 300mg/L. Dentre as considerações durante a implantação, Fontana (2004) ressaltou que as precipitações ocorridas nos períodos de secagem somente interferem nos primeiros dias após o lançamento do lodo no LD. Recentemente a referida ETA instalou uma cobertura móvel no LD com o objetivo de melhorar a eficiência do sistema principalmente em relação à possibilidade de interferência mencionada (Figura 5).



Figura 5. Cobertura móvel instalada no LD da ETA de Cardoso-SP. Fonte: Cordeiro *et al.* (2014).

A Figura 6 ilustra o sistema de Leito de Drenagem da ETA Guaíra – SP.



Figura 6. Leito de Drenagem em escala real na ETA de Guaíra – SP. Fonte: Cordeiro *et al.* (2014).

A Tabela 3 apresenta um compilado de informações de LDs implantados em escala real.

Tabela 3. Leitos de Drenagem (LD) em escala real implantados nas ETAs.

L D	Data de Implanta- ção	Custo de Implanta-ção (R\$)	Dimen- sões LxCxA <sup>(1)</sup> (m)	Área total (m <sup>2</sup> )	N. de Módulos
1	2004	16.500	6x5x0,5	90	3 <sup>(2)</sup>
2	2008	380.883	20x13x0,6	1040	4
3	2006	120.000	7,7x7x0,6	215,6	4 <sup>(2)</sup>
4	2006	45.000	7x5x0,6	70	2
5	2009	607.164	20x20x0,8	1600	4
6	2012	458.000	28,4x15x0,7	1700	4

<sup>(1)</sup>Dimensões do Leito de Drenagem (LD): Largura x Comprimento x Altura, em metros (m). <sup>(2)</sup>Leito de Drenagem (LD) com cobertura.

Tabela 3. Leitos de Drenagem (LD) em escala real implantados nas ETAs. *Continuação.*

LD	Tipo <sup>(3)</sup> Geotextil e Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Sedi- menta- dor para ALAF	Uso de polí- mero	Ciclo de desa- gua- mento	Troca do geotêxtil (anos)
1	T e 600	sim	não	30	5
2	NT e 600	sim	não	40	5
3	NT e 600	sim	não	ND	3
4	NT e 600	sim	não	30	3
5	NT e 600	sim	não	30	8
6	NT e 600	sim	não	40	5

<sup>(3)</sup>T - Tecido; NT-Não Tecido. ND- Não disponibilizado.

## 5. CONCLUSÕES

As experiências demonstradas em casos reais de implantação de Leito de Drenagem (LD) em ETAs demonstram a viabilidade técnica, operacional e construtiva deste sistema natural de desaguamento de LETA. Considerando ETAs com vazão de 25 L/s até 290L/s, ou seja, com população de até cerca de 64.000 habitante. Esses Leitos já implantados entre 8 -16 anos, com toca de mantas entre 3 e 8 anos evidenciam a efetividade do sistema. Vários outros dados poderiam ser inseridos. A extensão do resumo não permite. Esse sistema de desaguamento pode ser implantado, trazendo benefícios, principalmente ambientais, atendimento à legislação e propiciando a destinação ambientalmente adequada do LETA.



## REFERÊNCIAS

- Achon, C.L., Cordeiro, J.S. (2003) **Gerenciamento de lodo de ETAs – Remoção de água livre através de Leitos de Secagem e Lagoas**. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville - SC: Anais ABES, cd. I047.
- Achon, C.L., Barroso, M.M., Cordeiro, J.S. (2005). **Desempenho do Leito de Drenagem para desaguamento de lodo de ETA, que utilizam diferentes coagulantes, considerando as variáveis climáticas**. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande - MS: Anais ABES, cd. I-170.
- Achon, C.L., Barroso, M.M., Cordeiro, J.S. (2008) Leito de Drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. Revista Engenharia Sanitária e ambiental. ABES, Rio de Janeiro. Vol. 13, Nº 1, jan/mar 2008, 54-62p.
- ACHON, C. L.; REIS, R. F.; CORDEIRO, J. S. (2020). **Leitos de drenagem para resíduos de ETAs: contribuição do PPGEU para municípios de pequeno e médio porte**. In: VENTURA et al. (2020) Org. 25 anos: programa de pós-graduação em engenharia urbana – PPGEU. São Carlos: UFSCar/CPOI, 2020.
- Barroso, M.M. (2007) **Influência das micro e macro propriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por leito de drenagem**. 249p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CORDEIRO, J. S. (1999). **Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs**. In: REALI, Marco Antonio Penalva (Coord.). Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, p.1-19, 1999.
- Cordeiro, J.S. (1999). **Remoção Natural de Água de Lodos de ETAs Utilizando Leitos de Secagem e Lagoas de Lodo**. In: REALI, M.A.P et al. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água., Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB.
- 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.
- CORDEIRO, J.S., REIS, R. F.; ACHON, C.L.; BARROSO, M. M. (2014). **Evolução dos Leitos de Drenagem (LD) no Brasil – uma década de avanços**. In: XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), Anais. Monterrey - México, 2014. Cod. 332-T8-Cordeiro-Brasil-1, 8 p.
- 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.
- IBGE (2021). **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao%20acesso>>
- Reis, R.F. (2011). **Estudo de Influência de Cobertura Plástica na Remoção de Água de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Leitos de Drenagem**. 131p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos.

## DESAGUAMENTO DE LETA EM LEITOS DE DRENAGEM: INFLUÊNCIA DA ALTURA DA CAMADA DE LODO

Matheus Morais Minatel, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), matheusminatel@hotmail.com  
Cali Laguna Achon, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), caliachon@ufscar.br  
Gabriela Mazocco Pereira da Silva, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), gabimazocco@gmail.com  
Renan Felício dos Reis, Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus São Roque, renan.felicio@ifsp.edu.br

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Filtração, Geotêxtil

### 1. INTRODUÇÃO

Proveniente do processo de tratamento de água, os resíduos de Estações de Tratamento de Água (ETAs) podem apresentar diferentes características, dependendo do manancial, da tecnologia de tratamento adotada e condições operacionais na estação. O lodo, resíduo sólido gerado nas unidades decantação de ETAs convencionais de ciclo completo, necessita de destinação ambientalmente adequada, de acordo com a legislação ambiental vigente. O tratamento do lodo gerado em ETA (LETA) consiste na remoção de água, ou redução do teor de umidade, reduzindo seu volume e facilitando o manejo, transporte e propiciando o reuso, reutilização ou reciclagem. O Leito de Drenagem (LD) é uma das formas naturais de desaguamento de LETA, que por ser um sistema aberto, engloba as fases de drenagem e secagem. Este sistema de LD foi inicialmente proposto por Cordeiro (2001), após modificações no Leito de Secagem tradicional, para uma nova configuração utilizando apenas geotêxtil (como meio filtrante) e brita (camada suporte e drenante). A partir de Cordeiro (2001), várias pesquisas foram realizadas com uso de LD para redução de volume de LETA (Achon e Cordeiro, 2003; Fontana, 2004; Achon, Barroso e Cordeiro, 2005; Barroso, 2007; Achon, Barroso e Cordeiro, 2008 e Reis, 2011), porém sem realizar ensaios em condições muito controladas, em termos de teor sólidos totais do lodo bruto e altura da camada de lodo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fase de drenagem de LETA em LD, com as mesmas condições iniciais e variando a altura da camada de lodo.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados 5 (cinco) ensaios, em duplicata, com a finalidade de avaliar o desaguamento dos lodos de ETA em LD com diferentes alturas de aplicação: 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm e 50 cm. Para a realização dos ensaios, foram coletadas amostras de lodo na ETA de São Carlos (SP) em duas campanhas de coleta distintas. As amostras foram coletadas durante a operação de limpeza dos decantadores, com intervalo de 6 (seis) meses entre as campanhas.

#### 2.1. Preparação das amostras de lodo

Na Figura 1 pode-se observar os passos adotados para a diluição do lodo bruto dos decantadores e preparação das amostras de lodo com teor de sólidos de 1,5% para a realização dos 5 (cinco) ensaios em duplicata.

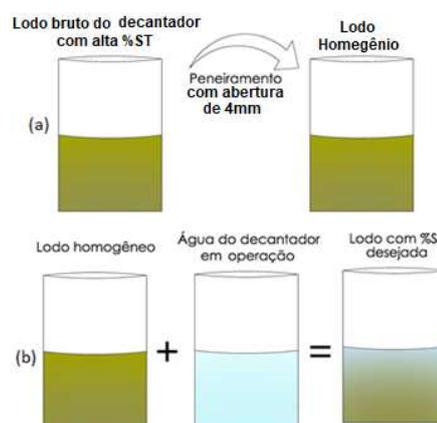


Figura 1. (a) Peneiramento para higienização do lodo. (b) Diluição do lodo com água do decantador.

Os lodos utilizados nos ensaios foram preparados previamente com o objetivo de alcançar um teor de sólidos totais (%ST) pré-determinado de 1,5%. Os lodos foram coletados diretamente dos

decantadores com %ST de aproximadamente 9,0 e 7,0, para primeira e segunda campanha de coleta de amostras, respectivamente. Para preparação das amostras com o teor de sólidos pré-determinado de 1,5% foi utilizada água proveniente dos decantadores em operação.

## 2.2. Leito de drenagem utilizado na pesquisa.

O sistema de LDs proposto e utilizado neste estudo foi concebido para que houvesse apenas fluxo normal em relação ao plano do geotêxtil, o leito foi composto por tubo de acrílico (D=150 mm), preenchido com brita no fundo (4 cm). Grande amplitude de vazões foi observada 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 ( $\Delta t$ ), dividida pela massa específica da amostra ( $\rho$ ), obteve-se a vazão média do intervalo  $\Delta t$  analisado. O esquema do sistema de LD, e equipamentos de medição de vazão, podem ser observados na Figura 2.

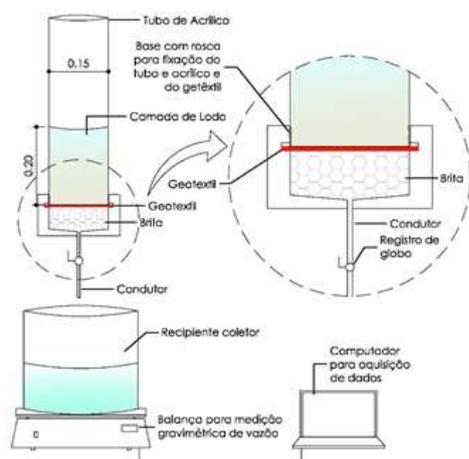


Figura 2. Esquema de instalação do Leito de Drenagem.

Foram coletadas amostras do líquido drenado para a verificação de parâmetros como cor aparente e turbidez nas primeiras três horas do início da drenagem, nos tempos de 1 min, 10 min, 30 min, 60 min, 120 min e 180 min. A medição destes parâmetros foi feita através de métodos

preconizados pela APHA/AWWA/WEF (2005). Foi utilizado nos ensaios o geotêxtil não tecido 100% poliéster GeoFort GH 26 da marca OBER, com gramatura de 500 g.m<sup>-2</sup>.

## 3. RESULTADOS

Na Figura 3, observa-se os valores de turbidez, cor aparente e a porcentagem drenada acumulada em relação ao volume de lodo aplicado em cada ensaio. Observa-se uma tendência de melhora da qualidade dos drenados ao longo do tempo, evidenciando a influência da formação do pré-filtro formado pela sedimentação dos sólidos do lodo sobre o LD. Não é possível estabelecer uma relação entre a altura da camada de lodo e a qualidade do drenado. Verifica-se diferenças entre os parâmetros de cor aparente e turbidez entre os ensaios com lodos da primeira e segunda amostras coletadas, onde os resultados dos ensaios usando as amostras de lodo coletado na 1ª campanha apresentaram valores menores para estes parâmetros. Observando-se o gráfico com a porcentagem drenada acumulada, verifica-se que a maioria dos ensaios obtiveram eficiência muito próxima e acima de 85%, exceto o ensaio com lodo da 1ª coleta para a altura inicial de 50 cm, que não havia terminado a drenagem até o tempo de 2880 min (48 hrs). Verificou-se também, que o tempo para a finalização da drenagem é inversamente proporcional à altura de camada de lodo, ou seja, LDs com maiores camadas de lodo, e conseqüentemente com maiores volumes, terminaram a drenagem mais rápido. Além disso, comparando os ensaios com a mesma altura com lodos da 1ª e 2ª campanha de coleta, verificou-se que os ensaios com lodo da 1ª campanha demoraram mais para finalizar a drenagem. Na Tabela 1 tem-se as taxas de vazão em L/(min.m<sup>2</sup>) para os cinco ensaios realizados em duplicata, e pode-se observar que nos minutos iniciais a taxa de vazão é diretamente proporcional à altura da camada de lodo aplicado, e a partir de 60 min, verifica-se a inversão dessa tendência, em que leitos com maiores alturas, passam a ter uma taxa de vazão menor do que os leitos com menores alturas após a formação e estabilização do pré-filtro formado pelos sólidos sedimentados do LETA

sobre o geotêxtil no LD. Além disso, na Tabela 2, pode-se verificar que a taxa de vazão é superior para os ensaios com lodo da 2ª campanha de coleta de lodo na ETA.

Tabela 1. Taxa de vazão  $L \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  das drenagens para diferentes alturas de aplicação de lodo e utilizando lodos da 1ª e 2ª campanha de coleta.

Altura lodo:	10 cm		20 cm		30 cm		40 cm		50 cm	
	Coleta lodo: 1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
10 min	2,19	2,49	2,36	2,85	2,74	3,47	3,08	3,28	3,02	4,14
30	0,57	0,72	0,55	0,65	0,61	0,78	0,73	0,76	0,75	0,80
60	0,40	0,64	0,36	0,51	0,35	0,44	0,38	0,44	0,40	0,47
120	0,35	0,55	0,33	0,43	0,27	0,44	0,25	0,28	0,24	0,28
180	0,31	0,10	0,28	0,38	0,30	0,38	0,20	0,26	0,17	0,21
240	0,24	0,01	0,24	0,35	0,27	0,35	0,17	0,34	0,18	0,38
300	0,01		0,22	0,32	0,25	0,32	0,14	0,33	0,14	0,38
360			0,19	0,31	0,22	0,31	0,14	0,31	0,12	0,34
720			0,13	0,08	0,18	0,27	0,20	0,25	0,10	0,27
1080			0,05		0,13	0,07	0,17	0,18	0,09	0,20
1440			0,00		0,09		0,14	0,14	0,08	0,15
1800					0,06		0,12	0,10	0,07	0,12
2160					0,01		0,10	0,03	0,07	0,10
2520							0,04		0,06	0,08
2880										0,04

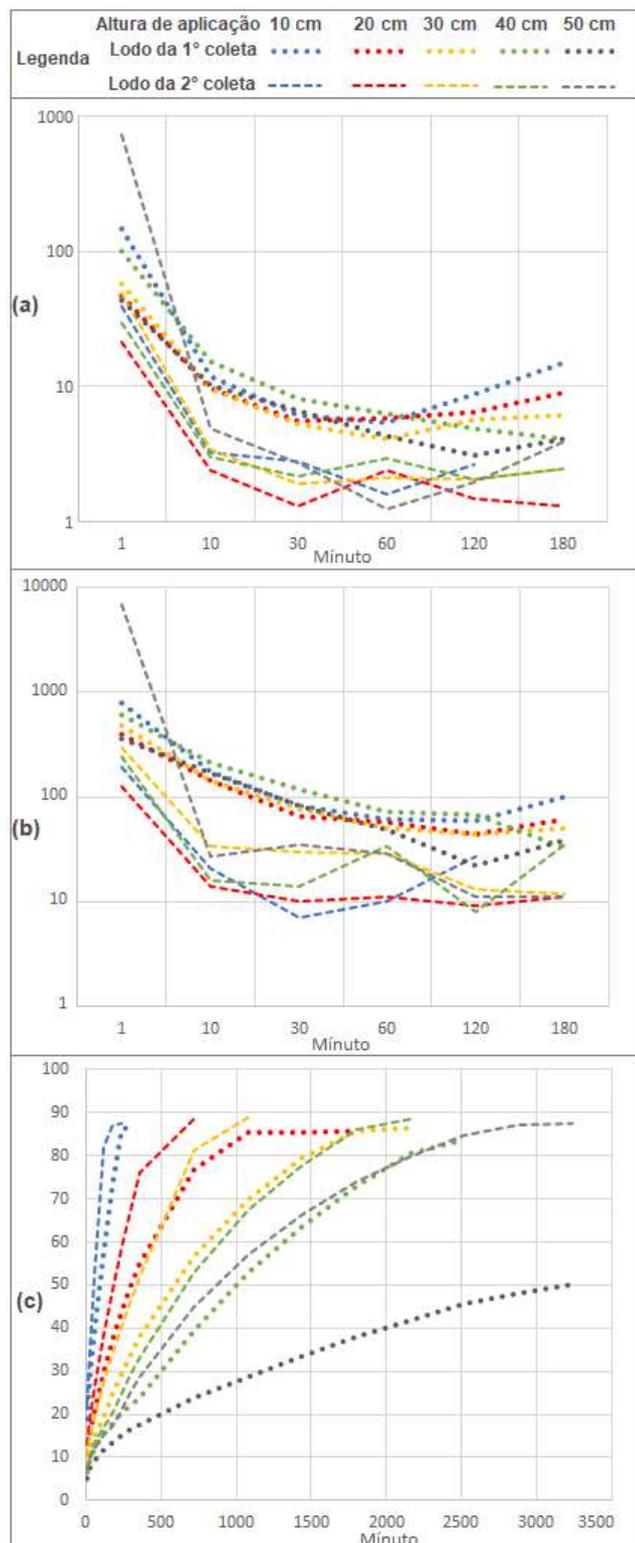


Figura 3. (a) Turbidez remanescente; (b) cor aparente remanescente; (c) porcentagem drenada em relação ao volume de lodo aplicado.

#### 4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a altura da camada de lodo teve influência no término das drenagens, mas pouca influência na qualidade dos líquidos drenados. Sendo assim, quanto maior a altura da camada de lodo, maior o tempo de drenagem. No universo analisado, utilizando LETA com o mesmo teor de sólidos, a altura da camada de lodo influenciou no pré-filtro formado pela sedimentação dos sólidos do lodo sobre o geotêxtil no LD. Essa influência pôde ser verificada pela diminuição mais significativa da taxa de vazão ao longo do tempo para os LDs com maiores alturas. Outra conclusão importante está relacionada às diferenças encontradas entre os ensaios realizados em duplicata, sob as mesmas condições iniciais e teor de sólidos totais, porém usando lodo coletado em campanhas de amostras diferentes na mesma ETA, e que interferiram nas taxas de vazões de drenagem e na qualidade do líquido drenado, em termos de cor e turbidez.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa, Projeto Universal 01/2016 Faixa A, Processo Nº 424639/2016-5.



## REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WEF, **Standard Methods For The Examination Of Water & Wastewater**, 21st Edition, 2005.
- Achon, C.L., Cordeiro, J.S. (2003) **Gerenciamento de lodo de ETAs – Remoção de água livre através de Leitos de Secagem e Lagoas**. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville - SC: Anais ABES, cd. I047.
- Achon, C.L., Barroso, M.M., Cordeiro, J.S. (2005). **Desempenho do Leito de Drenagem para desaguamento de lodo de ETA, que utilizam diferentes coagulantes, considerando as variáveis climáticas**. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande - MS: Anais ABES, cd. I-170.
- Achon, C.L., Barroso, M.M., Cordeiro, J.S. (2008) Leito de Drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. Revista Engenharia Sanitária e ambiental. ABES, Rio de Janeiro. Vol. 13, Nº 1, jan/mar 2008, 54-62p.
- 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.
- Cordeiro, J.S., Reis, R. F.; Achon, C.L.; Barroso, M. M. (2014). **Evolução dos Leitos de Drenagem (LD) no Brasil – uma década de avanços**. In: XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), Anais. Monterrey - México, 2014. Cod. 332-T8-Cordeiro-Brasil-1, 8 p.
- 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.
- Reis, R.F. (2011). **Estudo de Influência de Cobertura Plástica na Remoção de Água de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Leitos de Drenagem**. 131p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos.

# ENSAIOS DE DESAGUAMENTO COM CONES GEOTÊXTEIS: UM ESTUDO COM LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) DO MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ - SP

Raiane da Silva Cavadas Fonseca, Mestranda – UNESP - FEG, [raiane.cavadasf@gmail.com](mailto:raiane.cavadasf@gmail.com)  
Mariana Ferreira Benessiuti Motta, Professora – UNISAL - Lorena, [marianabenessiuti@yahoo.com.br](mailto:marianabenessiuti@yahoo.com.br)  
Matheus Müller, Doutorando – ITA, [mrlmuller@gmail.com](mailto:mrlmuller@gmail.com)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Filtração, Geotêxtil

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um bem de vital importância para a humanidade e, se não for bem cuidada, gera grandes problemas não só para a população, como também para a natureza. Müller (2018) apresenta que a maioria das atividades humanas que envolvem o uso da água recebe tratamento anterior e posterior a sua utilização, através das Estações de Tratamento de Água (ETA) e Esgoto (ETE), sendo imprescindível estudos que demonstrem a viabilidade dessa forma de tratamento.

A água ainda, quando aduzida para uma ETA passa por uma série de tratamentos, divididos entre convencionais e não convencionais. Os sistemas convencionais apresentam uma boa eficiência na remoção da cor, turbidez e possíveis contaminantes, sendo utilizada pela maioria das ETA's do Brasil (LIMA, 2016). As impurezas removidas, juntamente com os resíduos dos produtos químicos aplicados, são denominadas "lodo de ETA" (MARINHO, 2012). A maioria desse lodo de ETA é gerado através da lavagem dos filtros e limpeza dos decantadores (LIMA, 2016).

Costa *et al.* (2012) afirmam que no Brasil, a maioria das ETA's despejam esse lodo em cursos d'água sem nenhum tipo de tratamento, o que causa a deterioração da qualidade dos rios e lagos.

Neste sentido, este trabalho visa determinar o geotêxtil tecido e a concentração ideal de polímero para a filtração do lodo de ETA, tendo como objetivos específicos a análise das propriedades do material geotêxtil, da eficiência do uso de polímeros e da variação da umidade do lodo; a comparação da eficiência entre os

geossintéticos e a demonstração da viabilidade deste processo.

## 2. METODOLOGIA

Primeiramente foi feita a escolha do melhor polímero para o desaguamento dentre os seis tipos de polímeros analisados, sendo três aniônicos e três catiônicos, obtendo assim o polímero ideal, bem como suas concentrações para o ensaio.

Em seguida foi feito o ensaio de desaguamento de cone em dois tipos diferentes de geotêxteis tecido, que consiste na passagem do lodo condicionado quimicamente com o polímero, em um cone geotêxtil, medindo seu tempo de percolação.

Os geotêxteis escolhidos foram os confeccionados a partir de geotêxtil de polipropileno de alta densidade ultra estabilizados anti UV (HUSKER, 2018). A Tabela 1, a seguir, apresenta as propriedades características dos geotêxteis de acordo com o fabricante.

Tabela 1. Propriedades dos geotêxteis

Propriedade	Unid.	Geotêxtil 1	Geotêxtil 2
Resistência a tração – long. e trans. (NBR ISO 10.319)	kN/m	105	105
Deformação – long. e trans. (NBR ISO 10.319)	%	≤ 10	≤ 10
Velocidade de fluxo normal (NBR ISO 11.058)	m/s	$20 \times 10^{-3}$	$55 \times 10^{-3}$
Abertura de filtração característica (NBR ISO 12.956)	mm	0,20	0,40

Feito o desaguamento, através da secagem em estufa do material foram obtidos valores para umidade e teor de sólidos para a torta retida. Ainda, a partir do filtrado, foram obtidos dados de turbidez e cor, através de um turbidímetro e de um colorímetro. Por fim, foram calculadas as eficiências de filtração, desaguamento e infiltração, a partir dos dados gerados nos ensaios anteriores.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

A partir da variação de 1 a 100 ppm (partes por milhão) de dosagem, foi possível verificar que o polímero ideal para este lodo é o polímero aniônico A 100 nas concentrações de 90 e 100 ppm, uma vez que este em contato com o lodo obteve um tamanho de floco maior em relação aos outros, uma melhor separação do floco com a água e uma maior resistência a mistura, como mostra a figura 2.

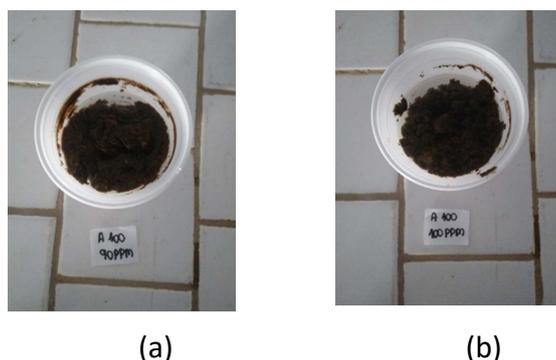


Figura 2. Polímero escolhido A 100. A) dosagem de 90 ppm, B) dosagem de 100 ppm

Sendo assim essas duas dosagens foram utilizadas no condicionamento químico do lodo nos ensaios seguintes. Lima (2016), no entanto, obteve melhores resultados na polimerização do lodo de ETA com polímeros catiônicos, o que mostra que o processo de condicionamento é singular e relativo a composição de cada lodo.

A partir da realização do ensaio de desaguamento em cone, foram obtidos valores para tempo de percolação, teor de sólidos e umidade. Todos os valores apresentados são dados médios, sendo que para cada amostra foram feitos ensaios em réplica e destes obtidas suas médias.

O geotêxtil que apresentou menor tempo de percolação foi o 1, na dosagem de 100 ppm, já o que apresentou maior tempo de percolação foi o 2 na dosagem de 90 ppm, sendo que este apresentou menor umidade na torta retida.

A partir do ensaio de turbidez, foram obtidos os valores para média e desvio padrão de turbidez, onde os valores dados pelo aparelho variam de 0 a 1.000 NTU (Unidade de Turbidez Nefelométrica), de acordo com as especificações do aparelho, como mostra a Tabela 2 a seguir. Para facilitar o entendimento da tabela, foram apresentados o geotêxtil 1 na dosagem de 90 ppm como A e dosagem 100ppm como B, e o geotêxtil 2 na dosagem 90 ppm como C e na dosagem 100 ppm como D.

Tabela 2. Média e desvio padrão do ensaio de turbidez

Amostra	Média (NTU)	Desvio Padrão
A	48,65	1,34
B	70,05	1,77
C	152	2,83
D	98	2,12

A partir dos dados obtidos no ensaio de turbidez, foi possível observar que a amostra que obteve menor turbidez e, também, menor desvio padrão, foi a amostra A.

Já em relação ao aparelho de cor, os valores dados pelo aparelho variam de 0 a 500 uC (unidade de Cor), de acordo com as especificações do aparelho, como mostra a Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Média e desvio padrão do ensaio de cor

Amostra	Média (uC)	Desvio Padrão
A	95,70	1,84
B	98,35	1,20
C	89,75	1,34
D	77,85	1,20

A partir dos dados obtidos por este ensaio, conclui-se que o geotêxtil que apresentou menor valor para cor foi a amostra D, e este apresentou um baixo desvio padrão.

Por último foram obtidos valores para eficiência de filtração, desaguamento e infiltração.

Tabela 4. Eficiência de filtração, infiltração e desaguamento

Amostra	EF (%) <sup>1</sup>	EI (%) <sup>2</sup>	ED (%) <sup>3</sup>
A	73,13	97,26	80,74
B	79,80	97,55	87,80
C	81,54	97,56	79,98
D	86,79	96,83	88,40

<sup>1</sup> EF – Eficiência de Filtração

<sup>2</sup> EI – Eficiência de Infiltração

<sup>3</sup> ED – Eficiência de Desaguamento

Foi possível observar que, todos apresentaram todas as eficiências de forma alta e aceitável. Para as devidas comparações, é apresentada também a tabela 05 com os valores calculados do lodo inicial

Tabela 5. Dados do lodo inicial

Volume (mL)	500
Peso lodo úmido (g)	502,3
Peso lodo seco (g)	94,08
Teor de Umidade (%)	429
Densidade (m/V)	0,18816
Teor de Sólidos (%)	18,72

Os dados de turbidez e cor não foram possíveis de calcular, uma vez que os valores seriam superiores aos valores máximos que o aparelho apresenta.

Em relação a todos os dados obtidos, foi verificado que o polímero ideal para o lodo da ETA foi o aniônico do tipo comercial A 100. A partir do desaguamento de cone, obteve-se o menor tempo de percolação de 11,57 min sendo este o que apresentou menor teor de umidade e maior teor de sólidos, para a amostra B.

Com base na secagem em estufa da torta foi obtido um teor de água de 359% e um teor de sólidos de 18,5%, referente a amostra C. O menor valor para turbidez foi de 48,65 NTU e para cor foi de 77,85 uC para a amostra A.

Lima (2016), em suas pesquisas, apresentou dados para o desaguamento do lodo no cone geotêxtil

nos tempos de 2, 6, 10, 14 e 18 minutos, apresentando melhores resultados de teor de sólidos e turbidez conforme o tempo de desaguamento aumentou. Para o tempo de 10 minutos, os valores obtidos foram próximos aos valores obtidos nesta pesquisa. Mostrando que ao se escolher um bom condicionante químico para um lodo, com dosagem pertinente, este proporciona boa filtração e diminuição na turbidez do efluente.

Já Monteiro (2014), que realizou estudo de desaguamento em bolsas de pequenas dimensões, estas submetidas a ciclos de desaguamento durante 14 semanas, concluiu que estes tipos de ensaio são mais fiéis com o observado em escala real. Onde obteve melhores valores para umidade, teor de sólidos, turbidez e cor, proporcionados pela pressão de enchimento, fator inexistente nos ensaios de cone.

#### 4. CONCLUSÕES

Para o lodo da ETA de Guaratinguetá – SP, o desaguamento com uso de tubos geotêxteis pode ser feito com desempenho positivo e satisfatório quanto a eficiência de filtração, infiltração e desaguamento, bem como para o aumento do teor de sólidos.

Em relação aos geotêxteis, foi possível perceber que o geotêxtil 2 apresentou melhor eficiência, uma vez que apresentando uma maior abertura de filtração característica conseguiu filtrar melhor o lodo condicionado.

Por fim, foi possível perceber uma melhora significativa na qualidade do percolado resultante do processo de desaguamento em relação ao lodo inicial. Porém, de acordo com os órgãos fiscalizadores ainda é necessário obter valores menores para turbidez e cor.

#### AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a SAEG (Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá), pela doação do lodo de sua Estação de Tratamento de Água e a Huesker pela doação dos geotêxteis e polímeros.



## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **-NBR ISO 10.319. Geossintéticos - Ensaio de tração faixa larga.** Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **-NBR ISO 11.058. Geotextiles And Geotextiles-Related Products - Determination Of Water Permeability Characteristics Normal To The Plane, Without Load.** Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **-NBR ISO 12.956. Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação da abertura de filtração característica.** Rio de Janeiro, 2013.
- COSTA, A. D. S.; HILLEN, L. M.; FERREIRA, R. G.; LERMONTAV, A. **Aplicação de geofôrma linear no desaguamento de lodo de ETA – um estudo de caso na ETA Secretário, Petrópolis.** In: XV Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2012.
- LIMA, R. M. **Desaguamento do Lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) 006 da cidade de Palmas – TO, por meio de polímeros e filtração em geotêxtil.** 84f. Dissertação de mestrado, Departamento de Saneamento Ambiental, universidade Federal de Tocantins, Palmas, 2016.
- MARINHO, I. A. R. S. **Estimativa de massa seca de lodo e caracterização dos resíduos gerados na Estação de Tratamento de Água (ETA 001) da cidade de Paraíso do Tocantins – TO.** 63f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Tocantins, 2012.
- MONTEIRO, N.T. **Características de lodos de Estações de Tratamento de Água desidratados por sistema geotêxtil: estudo de caso.** 84f. Dissertação de mestrado (geotecnia ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014.
- MÜLLER, M. **Adensamento de resíduo confinado no processo de desague em Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR): Um estudo comparativo entre dados de campo e bibliografia.** 7f. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, XIX. Bahia, 2018.
- HUESKER. SOILTAIN DW. Disponível em: <<http://www.huesker.com.br/produtos/geossinteticos/formas-texteis/soiltain-dw.html>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

## EVOLUÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS DE LODO DE ETA APÓS DESAGUAMENTO EM TUBOS GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS

*Samira Tessarolli de Souza, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, samira.tsouza@gmail.com*

*Maria Alejandra Aparicio Ardila, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, maparicio@usp.br*

*Jefferson Lins da Silva, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, jefferson@sc.usp.br*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Teor de Sólidos, Tubo Geotêxtil Não Tecido.

### 1. INTRODUÇÃO

Os tubos geotêxteis ou sistemas de confinamento de resíduos (SCR) constituem uma tecnologia de desaguamento amplamente utilizada em diversos setores industriais, devido a seu baixo custo e a sua facilidade de instalação e operação. Este tipo de sistema foi empregado pela primeira vez por Fowler et al. (1996). Comparados com outras tecnologias naturais de desaguamento, os tubos geotêxteis apresentam menor dependência das condições meteorológicas, pois, como o sistema é fechado, há menor interferência da chuva (GUIMARÃES *et al.* 2014). Nos últimos anos, os tubos geotêxteis têm sido utilizados nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) brasileiras, atendendo à demanda de desaguar o lodo gerado, principalmente nas unidades de filtração e decantação.

Adicionar polímeros, particularmente a base de poliácridamida, tornou-se um componente essencial para o processo de desaguamento em tubos geotêxteis, onde os polímeros atuam como floculantes, melhorando as características do desaguamento (MOO-YOUNG; GAFFNEY; MO, 2002; KOERNER; KOERNER, 2006; LAWSON, 2008; SATYAMURTHY; BHATIA, 2009). Nas diferentes áreas, inclusive na de saneamento, o geotêxtil mais empregado na fabricação destes tubos é o geotêxtil tecido de polipropileno, devido a sua elevada resistência à tração. Atualmente no mercado estão disponíveis diferentes tipos de geotêxteis que podem ser empregados para a fabricação de tubos. Este trabalho apresenta um estudo de caso de tubos geotêxteis elaborados em geotêxtil não tecido de poliéster, geotêxtil com características de resistência à tração inferiores às do geotêxtil tecido, porém com melhor

desempenho à filtração. O desempenho ao desaguamento destes tubos foi avaliado com e sem o condicionamento químico do lodo de ETA. O principal objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade do emprego deste tipo de material na elaboração de tubos geotêxteis para o desaguamento de lodo de ETA.

### 2. METODOLOGIA

Foram instalados dois tubos geotêxteis não tecidos com massa por unidade de área de 600 g/m<sup>2</sup> e dimensões de 4,8 m x 10 m na ETA Jardim Bela Vista na cidade de Nova Odessa – SP. Estes foram preenchidos com lodo proveniente da lavagem mensal dos decantadores com teor de sólidos médio de 4%. O primeiro tubo teve ciclos de enchimento realizados com o lodo in natura e o segundo com adição de condicionante químico. O tipo de condicionante e sua dosagem foram definidos seguindo os resultados obtidos por Aparicio Ardila *et al.* (2020), que realizaram ensaios de semi-desempenho nas instalações da ETA de estudo.

Após encerrados os ciclos de enchimento e drenagem, na fase de consolidação, foi executado um plano de coletas semanais de amostras de lodo para acompanhar a evolução do teor de sólidos dentro dos tubos.

#### 2.1. Coleta de amostras

O plano de coleta foi baseado na divisão do tubo geotêxtil em quatro quadrantes (Q1 a Q4) e cada quadrante, em quatro regiões: cantos (CA), centro (CE), borda lateral (BL) e borda transversal (BT), conforme mostrado na Figura 1. Essa distribuição foi determinada de forma a coletar amostras representativas de regiões equidistantes, sem,

entretanto, ter a influência das áreas abertas nas coletas anteriores.

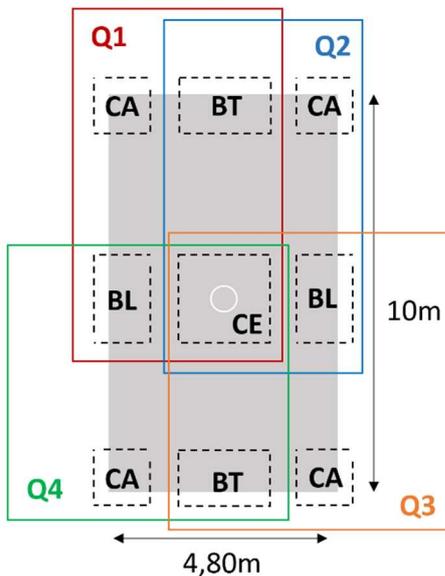


Figura 1. Localização dos quadrantes e regiões para coleta de amostras.

Para o acesso às diferentes regiões, foram abertas pequenas janelas na parte superior do tubo geotêxtil (Figuras 2a, 2b e 2c), as amostras de lodo foram extraídas com auxílio de frações de tubos de PVC (Figura 2d). Posteriormente, foi determinado o teor de sólidos médio de cada amostra.

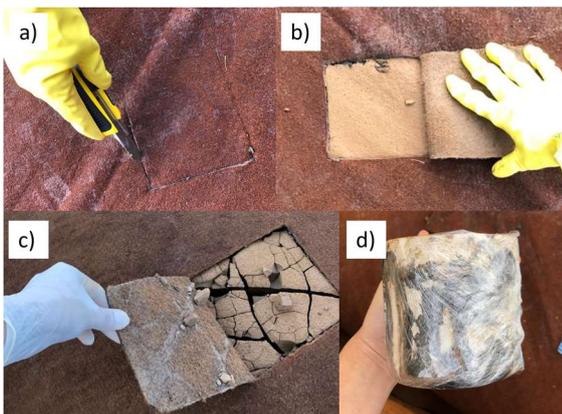


Figura 2. Janelas abertas para coleta de amostras.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3, a seguir, apresenta os teores de sólidos médios obtidos em cada coleta nos tubos condicionados quimicamente (COM) e sem condicionamento (SEM).

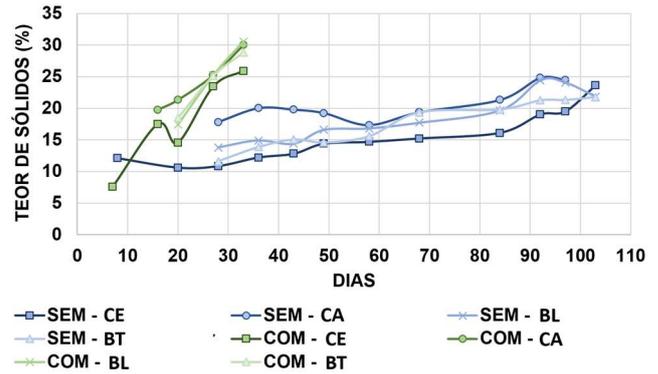


Figura 3. Comparativo da evolução do teor de sólidos com e sem o uso de polímero flocculante.

Os efeitos do uso do polímero flocculante já podiam ser visualizados nas amostras de lodo coletadas da tubulação de enchimento: era nítida a separação das frações sólida e líquida. Essa separação prévia ocasionou que o desaguamento ocorresse de forma acelerada, com consequente evolução do teor de sólidos também em período inferior quando comparado ao tubo preenchido sem o uso de condicionante químico. Estes resultados podem ser verificados na Figura 3, que apresenta que o tubo preenchido com a utilização de polímero pode ser removido em um período 3 vezes menor (em 34 dias) em comparação ao tubo preenchido com lodo in natura, que ficou disposto 103 dias para atingir teor de sólidos suficiente para remoção.

Outro ponto que chama atenção é a distribuição do teor de sólidos do lodo dentro do tubo geotêxtil no período de consolidação dos dois ensaios: o centro foi a região que apresentou menor teor de sólidos (portanto, maior umidade) e os cantos, maior teor de sólidos ao longo de toda evolução. As bordas apresentaram valores intermediários. Esses resultados indicam que as regiões com maior superfície de exposição apresentam menor tempo de desaguamento.

Ao atingir teor de sólidos em torno de 25%, pode ser observada a aparência do lodo sólida e consistente, tendo sido considerado este o ponto ideal para remoção (Figura 4). Nesse momento, os tubos geotêxteis foram abertos ao meio e com auxílio de uma retroescavadeira, os sólidos foram

dispostos em caçambas que foram enviadas diretamente ao aterro sanitário.



Figura 4. Tubo geotêxtil com lodo in natura após o período de consolidação, aberto e pronto para ser removido.

LAWSON, C. R. Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. **Geosynthetics International**, v. 15, n. 6, p. 384–427, dez. 2008.

MOO-YOUNG, H. K.; GAFFNEY, D. A.; MO, X. Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 20, n. 5, p. 289–303, 2002.

SATYAMURTHY, R.; BHATIA, S. K. Effect of polymer conditioning on dewatering characteristics of fine sediment slurry using geotextiles. **Geosynthetics International**, v. 16, n. 2, p. 83–96, 2009.

#### 4. CONCLUSÕES

Conclui-se que o sistema proposto tem um alto potencial de utilização para ETAs, tendo em vista a evolução de teor de sólidos obtidos, principalmente com o uso de polímero flocculante, o que reduziu o tempo de desaguamento do lodo.

#### AGRADECIMENTOS

À CODEN, por permitir a realização dos ensaios em suas instalações e por toda disposição em auxiliar no desenvolvimento dos ensaios. À Ober, pela doação dos tubos geotêxteis não tecidos.

#### REFERÊNCIAS

APARICIO ARDILA, M. A. et al. Geotextile Tube Dewatering Performance Assessment: An Experimental Study of Sludge Dewatering Generated at a Water Treatment Plant. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 8129, 2020.

FOWLER, J.; BAGBY, R. M.; TRAINER, E. Dewatering sewage sludge with geotextile tubes. In: 49th Canadian Geotechnical Conference, St. John's, NL, Canada. Anais... St. John's, NL, Canada: 1996.

GUIMARÃES, M. G. A.; URASHIMA, D. C.; VIDAL, D. M. Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems. **Geosynthetics International**, v. 21, n. 5, p. 310–320, 2014.

KOERNER, G. R.; KOERNER, R. M. Geotextile tube assessment using a hanging bag test. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 24, n. 2, p. 129–137, 1 abr. 2006.

## INFLUÊNCIA DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS NO DESAGUAMENTO DE LETA EM LEITO DE DRENAGEM

*Gabriela Mazocco Pereira da Silva, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), gabimazocco@gmail.com*

*Matheus Moraes Minatel, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), matheusminatel@hotmail.com*

*Cali Laguna Achon, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), caliachon@ufscar.br*

*Renan Felício dos Reis, Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus São Roque, renan.felicio@ifsp.edu.br*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Filtração, Geotêxtil

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de água gera resíduos, que podem apresentar diferentes características, dependendo do manancial, condições operacionais e tecnologia de tratamento nas Estações de Tratamento de Água (ETAs). O tratamento dos resíduos consiste em sua redução de volume, para facilitar o posterior reuso, reciclagem ou destinação adequada. O descarte inadequado dos resíduos gerados na ETA pode trazer diversos malefícios para o corpo de água no qual será lançado e as vidas que dependem deste. O Leito de Drenagem (LD) é uma das formas naturais de desaguamento do lodo de ETA, que tem como características ser um sistema de baixo custo de instalação e operação, porém necessita de área para sua implantação e depende das condições climáticas. Esse mecanismo de desaguamento consiste na modificação do Leito de Secagem tradicional para uma nova configuração, utilizando apenas geotêxtil e brita, e inicialmente, proposto por Cordeiro (2001). Este trabalho tem por objetivo avaliar o uso de geotêxteis não tecidos no desaguamento de LETA usando Leitos de Drenagem (LD).

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa pode ser dividida em duas etapas: caracterização dos geotêxteis e ensaio de desaguamento em Leito de Drenagem em escala de bancada. Estas etapas permitiram avaliar a influência dos diferentes geotêxteis na fase de desaguamento de lodo de ETA. Nos ensaios foram utilizados 4 geotêxteis não tecidos de massa por

unidade de área nominais 300, 400, 500 e 600 g/m<sup>2</sup>.

#### 2.1. Ensaios de desaguamento

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. Os desaguamentos em Leitos de Drenagem foram realizados com amostras de lodo de ETA com teor de sólidos totais de 1,0%, altura de camada de lodo de 10cm, resultando em uma Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS) de 1,0 kgST.m<sup>-2</sup>. 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 geotêxteis, estes podem ser observados na Figura 1.



Figura 1. Sistema de desaguamento e medição de vazão utilizados nesta pesquisa.

Foi adotado um sistema gravimétrico de medição das vazões, no qual a vazão drenada foi conduzida até recipientes locados sobre balanças e 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 ( $\Delta t$ ), dividida pela massa específica da amostra ( $\rho$ ), obtivemos a vazão média do intervalo  $\Delta t$  analisado. Foram coletadas amostras do líquido drenado para a verificação de parâmetros como cor aparente e turbidez nas primeiras três horas do início da drenagem (1min, 10min, 30min, 60min, 120min e 180min). A medição destes parâmetros foi feita através de métodos preconizados pela APHA/AWWA/WEF (2001).

## 2.2. Ensaios para caracterização dos geotêxteis

O ensaio de massa por unidade de área foi feito de acordo com a NBR ISO 9864:2013. A espessura dos geotêxteis foi determinada segundo a NBR ISO 9863-1:2013. O ensaio de permissividade foi realizado segundo as orientações contidas na ABNT NBR ISO 11058:2013 no equipamento mostrado na Figura 2.



Figura 2. Equipamento utilizado no ensaio de permissividade.

Os dados obtidos nesse procedimento foram utilizados na Equação contida na norma americana ASTM D 4491 (1999) para que a permissividade fosse encontrada na unidade  $s^{-1}$ .

## 3. RESULTADOS

A partir dos ensaios de caracterização dos geotêxteis foram obtidos os valores contidos Tabela 1 para as propriedades físicas e hidráulica.

Tabela 1. Caracterização dos geotêxteis.

Geotêxtil	Massa por unidade de área média ( $g/m^2$ )	Espessura média (mm)	Permissividade ( $s^{-1}$ )
300	269,79	1,59	1,572
400	420,91	2,78	0,627
500	468,80	3,46	0,923
600	647,94	4,01	0,513

Com esses resultados e os parâmetros de vazão, turbidez e cor aparentes obtidos dos ensaios de desaguamento, foram construídos gráficos, apresentados nas Figuras 3,4a, 4b e 5.

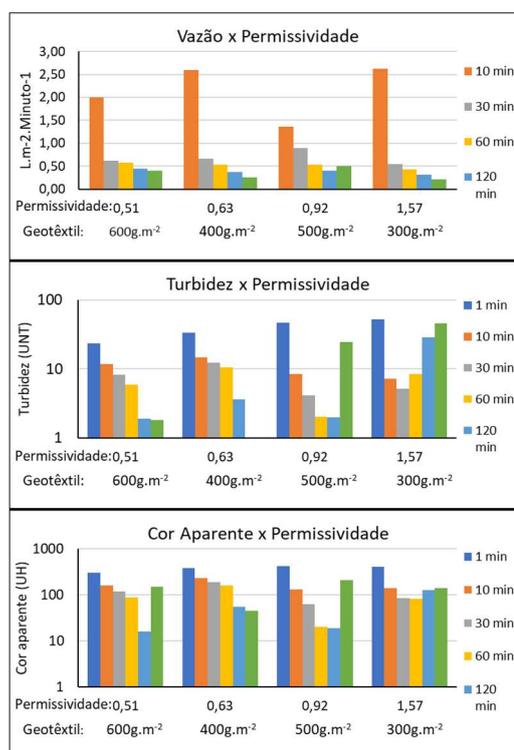


Figura 3. Relação entre permissividade e os parâmetros do desaguamento.

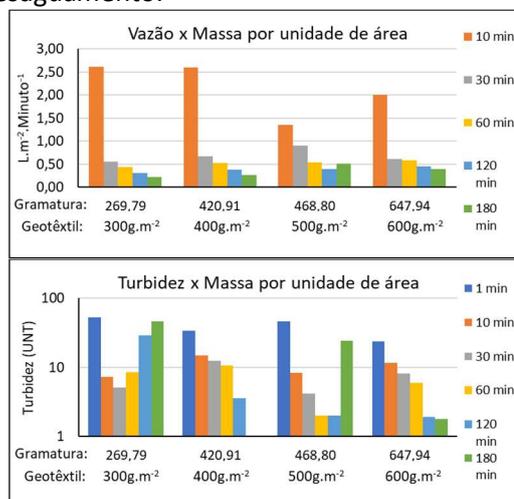


Figura 4a. Relação entre massa por unidade de área e os parâmetros do desaguamento (vazão e turbidez).

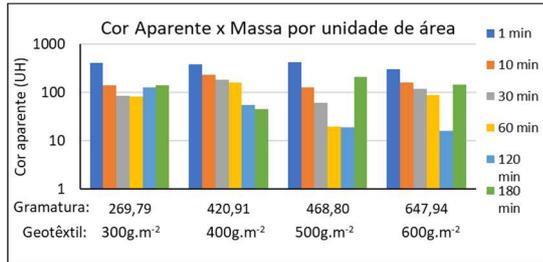


Figura 4b. Relação entre massa por unidade de área e os parâmetros do desaguamento (Cor Aparente).

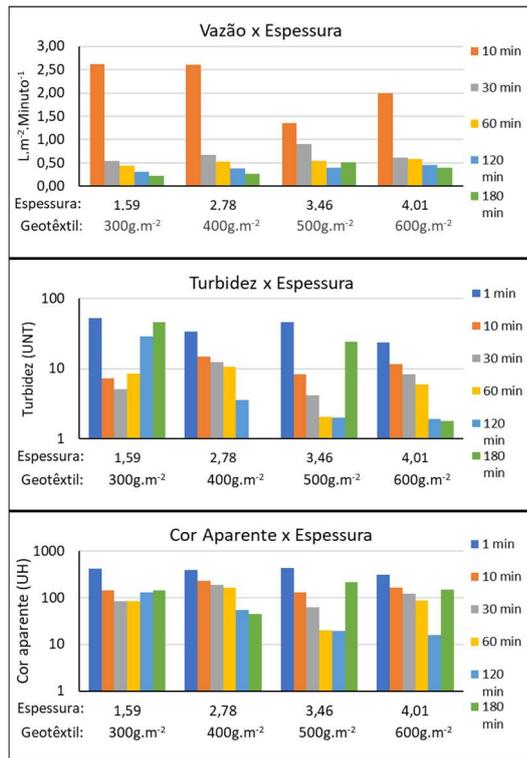


Figura 5. Relação entre espessura e os parâmetros do desaguamento.

A partir dos gráficos é possível observar que, para as condições de ensaio aplicadas, há uma relação entre a turbidez e a permissividade no primeiro minuto, apresentando um aumento na turbidez de acordo com o aumento da permissividade. Porém para os tempos subsequentes essa tendência não é verificada, podendo haver influência de outras propriedades do geotêxtil e do desaguamento.

Considerando os gráficos das Figuras 3, 4a, 4b e 5, nota-se que após os primeiros dez minutos as vazões são semelhantes para os quatro geotêxteis, evidenciando a formação do pré-filtro. A formação do pré-filtro foi também observada por Silva, Minatel e Achon (2020) em ensaios realizados por estes com os mesmos tipos de geotêxteis e mais

dois geotêxteis tecidos para a taxa de aplicação de sólidos de 15 kg.m<sup>-2</sup>, sendo o teor de sólidos totais do lodo de ETA de 3% ST e a altura de 50 cm. Apesar da diferença envolvendo as condições iniciais de desaguamento nos dois trabalhos e TAS diferentes, a presença do pré-filtro foi constatada em ambos e sua influência foi semelhante, refletindo nas vazões drenadas.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados foram distintos para os desaguamentos em LD usando diferentes geotêxteis, porém não foi possível determinar uma relação entre a massa por unidade de área e espessura com os dados obtidos para vazão, turbidez e cor aparente. Outros parâmetros dos geotêxteis, como transmissividade e abertura de filtração, devem ser estudados para analisar a possibilidade dessas propriedades influenciarem diretamente nos parâmetros estudados.

Já em relação a turbidez, é possível verificar o aumento do valor desta com o aumento da permissividade dos geotêxteis no primeiro minuto de desaguamento, podendo esta influenciar na qualidade do drenado no início do desaguamento. Essa tendência não é observada no decorrer do desaguamento, tendo outras características dos geotêxteis ou do próprio desaguamento maior influência no valor de turbidez.

Apesar da baixa taxa de aplicação de sólidos, observou-se a formação do pré-filtro, o qual é notado pela similaridade das vazões após os primeiros dez minutos de desaguamento, para os quatro geotêxteis utilizados, mesmo estes apresentando permissividades distintas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa, Projeto Universal 01/2016 Faixa A, Processo Nº 424639/2016-5.



## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1999). **Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity**. ASTM D 4491. ASTM International, Pennsylvania
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (2001). **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 20.ed. Washington DC, USA. 2001
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO 9863-1. Geossintéticos – Determinação da espessura a pressões especificadas - Parte 1: Camada única**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO 9864. Geossintéticos – Determinação da massa por unidade de área**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 11058. Geotêxteis e produtos correlatos – Determinação das características da permeabilidade à água normal ao plano, sem carga**. Rio de Janeiro, 2013.
- 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.
- SILVA, G. M. P; MINATEL, M. M; ACHON, C. L (2020). **Análise da influência do tipo de geotêxtil no desaguamento de lodo de ETA usando Leito de Drenagem**. In: Encontro AESABESP - Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente., 31., 2020, São Paulo. Anais [...]. Disponível em: [http://evoluedoc.com.br/aesabesp/detalhes-3781\\_analise-da-influencia-do-tipo-de-geotextil-no-desaguamento-de-lodo-de-eta-usando-leito-de-drenagem](http://evoluedoc.com.br/aesabesp/detalhes-3781_analise-da-influencia-do-tipo-de-geotextil-no-desaguamento-de-lodo-de-eta-usando-leito-de-drenagem). Acesso em 23 abr 2021.

## LEITOS DE DRENAGEM COBERTOS E SUA EFICIÊNCIA EM DESAGUAMENTO DE LETA

*Renan Felício dos Reis, Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Câmpus São Roque, renan.felicio@ifsp.edu.br*

*Cali Laguna Achon, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), caliachon@ufscar.br*  
*João Sergio Cordeiro, Allevant Educação, cordeiro.js@gmail.com*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Leito de drenagem, Cobertura plástica

### 1. INTRODUÇÃO

A maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs) para abastecimento público existentes no Brasil se utiliza de captação de águas superficiais e tecnologia de tratamento de ciclo completo convencional. Neste tratamento são gerados resíduos nos decantadores, que é o lodo (LETA), e na água de lavagem dos filtros (ALAF). Infelizmente, a maioria das ETAs brasileiras lança seus resíduos diretamente em corpos d'água, infringindo disposições da Lei 9.605/98. Existem tecnologias mecanizadas e naturais para desaguamento, ou seja, remoção de água dos resíduos gerados no tratamento. Uma tecnologia natural para remoção de águas dos resíduos de ETAs é o Leito de Drenagem (LD), desenvolvido e proposto por Cordeiro (2001). O LD possui basicamente duas etapas envolvidas: drenagem e secagem (evaporação). Este trabalho apresenta resumidamente os resultados de uma pesquisa, cujo objetivo central foi avaliar o desaguamento de LETA, principalmente a fase de secagem, através da utilização de Cobertura Plástica (CP) no LD (etapa de evaporação).

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Cobertura plástica (CP)

A CP abordada neste artigo foi o foco central para buscar melhoria na etapa de secagem/evaporação do LETA usando LD. Qualquer processo de secagem se baseia no fato de que moléculas de água passam do estado líquido para o gasoso, transformando-se no chamado vapor. Entretanto, para que isso ocorra, certa quantidade de energia é requerida, podendo esta ser fornecida de forma natural. As formas de transmissão de calor, fundamentalmente diferentes e regidas por leis

próprias, são conhecidas como condução, convecção e radiação, e estas devem ser criteriosamente consideradas para a concepção de CPs eficientes. Além destas considerações, premissas básicas de estufas tradicionais para cultivo de alimentos também devem ser levadas em conta na concepção de sistemas com CP para aumentar a eficiência da remoção de água de LETA. O intuito é criar uma atmosfera artificial estritamente para secagem do lodo, favorecendo que a umidade gerada internamente à estufa seja liberada e, a fim de se evitar um equilíbrio entre a pressão de vapor dentro e fora do lodo, o ar deve ser liberado para fora da estufa. No caso da CP em LD esta liberação pode ser considerada como natural, já que existem aberturas laterais e o vapor d'água é menos denso que o ar seco (correntes convectivas). As CPs, assim como as placas solares devem possuir inclinação e orientação adequadas conforme região onde estiverem localizadas para que exista maior aproveitamento da radiação incidente, resultando em melhor direcionamento dos raios refratados e maior aquecimento interno. A recomendação é que o ângulo de inclinação da CP seja igual ou mais próximo possível da latitude do local de instalação (REIS, 2011). Quanto à orientação, é imprescindível que pelo menos um dos lados da CP (preferência o lado de maior área, quando ocorrer) esteja voltado para o hemisfério oposto ao que se localiza.

#### 2.2. Leito de drenagem (LD)

O LD tem sido uma tecnologia bastante eficiente na remoção de água de LETA e apresenta diversas abordagens em pesquisas, incluindo casos de sucesso em escala real (REIS, 2011; CORDEIRO et al., 2014; CORDEIRO, ACHON, REIS, 2020). O LD pode ser considerado como um sistema natural de

duas etapas que podem ou não ocorrer simultaneamente, são elas: drenagem (ou filtração) e secagem (ou evaporação). Após despejo do LETA no LD inicia-se instantaneamente a etapa de drenagem e, em paralelo – durante a drenagem – ocorre também a secagem. Ao se finalizar a drenagem, mantém-se apenas a etapa de secagem do LETA, dependendo exclusivamente do fenômeno de evaporação, e é especificamente nesta etapa que são trazidas considerações neste trabalho. Acrescenta-se que um LD em funcionamento apresenta proporção de perda de água muito maior e mais rápida durante a drenagem do que durante a secagem (REIS, 2011).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo foram dois protótipos de LD de chapa galvanizada com capacidade aproximada de 260L; tubos de aço; aproximadamente 5m<sup>2</sup> de tecido plástico do tipo PVC 0,30mm transparente para a construção da CP; 16L de brita nº 1; manta geotêxtil não tecida de 600g/m<sup>2</sup>; LETA proveniente de decantador de ETA de ciclo completo convencional; materiais complementares para coleta e realização dos ensaios; e equipamentos laboratoriais. A Figura 1 ilustra esquematicamente a concepção do LD com CP, o que permite compreender também o LD sem CP, bastando apenas desconsiderar a CP.

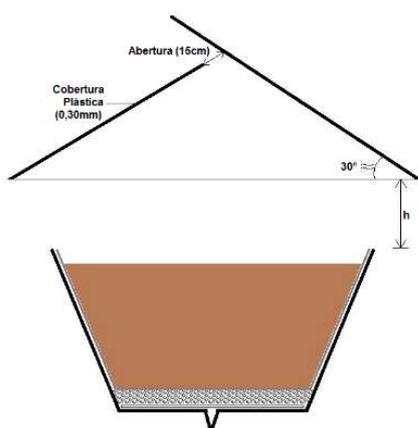


Figura 1. Esquema do LD com CP.

Fonte: REIS (2011).

Foram realizados 6 (seis) ensaios efetivos simultâneos nos LDs com e sem CP. A CP utilizada nos ensaios permitia ajuste de altura e, dos seis ensaios, dois foram realizados com CP a 20cm de

altura em relação ao LD e os demais a 30, 40, 50 e 60cm. Os ensaios foram realizados simultaneamente (com e sem CP) para avaliar as diferenças na remoção de água por conta da CP, permitindo comparação. O volume de LETA despejado nos LDs foi de aproximadamente 220L, o que alcançou uma altura da camada de lodo de 50cm. O período médio de duração de cada ensaio foi de 7 (sete) dias, e estes foram realizados no fim do inverno e início da primavera.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 e 2 sintetizam os resultados obtidos nos 6 (seis) ensaios simultâneos realizados, referentes ao lodo bruto, à água drenada acumulada no ensaio e aos dados meteorológicos.

Tabela 1. Análises do LETA bruto e da água drenada em cada ensaio (E) variando a altura da CP no LD.

Altura CP →		0,2m	0,3m	0,4m	0,5m	0,6m	0,2m
Nº Ensaio →		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
LETA	ST (%)	0,42	0,20	1,41	1,20	0,18	2,22
	pH (%)	6,5	6,7	6,9	6,6	6,9	7,3
Dados meteorológicos	Água						
	Cor (uC)	52	45	97	111	50	60
	Turbid. (NTU)	4,9	5,5	11,3	61,1	6,7	3,7
	Temp (°C)	17	18	17	22	18	20
	Um.Rel. (%)	63	59	46	36	68	80
	Insol. (hbs)	61	NR	76	NR	39	21
	Nebulosidade	0,2	0,2	0,2	NR	0,3	0,8
	V. Vento (m/s)	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2
Rad. (MJ/m <sup>2</sup> )	141	127	160	157	105	153	
Pluvios. (mm)	0	0	0	0	0	113	

ST: sólidos totais; NR: não registrado.

Na Tabela 2 nota-se que a média de duração dos ensaios foi de 7 (sete) dias e que o ensaio com maior duração foi o E-6, com 11 (onze) dias. Em termos de agilidade na remoção da água e obtenção de LETA desaguado, pode-se afirmar que o E-5 foi o que mais se destacou, tendo duração de quatro dias e alcançando percentual de 89,49% de sólidos totais (ST). Entretanto, assim como também ocorreu no E-2, acredita-se que isso ocorreu principalmente devido ao baixo percentual de ST na amostra de LETA bruto, ou seja, 0,18% de ST para o ensaio E-5 e 0,20% de ST para o E-2, conforme Tabela 1.

Tabela 2. Análises diárias de ST por LD e por ensaio.

		DIA(S) APÓS DESPEJO DE LODO NO LD (% de ST)											
		Bruto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E-1	C/ CP	0,42	9,46	12,24	15,01	19,09	55,50	75,03	88,77	-	-	-	-
	S/ CP	0,42	7,38	8,95	12,27	15,18	26,21	31,34	56,59	-	-	-	-
E-2	C/ CP	0,20	8,18	14,64	20,69	37,44	63,87	89,89	-	-	-	-	-
	S/ CP	0,20	7,14	12,76	17,93	24,12	43,79	69,18	-	-	-	-	-
E-3	C/ CP	1,41	6,89	9,58	11,91	15,61	18,44	27,82	46,71	85,24	93,29	-	-
	S/ CP	1,41	5,67	8,19	9,72	13,08	16,43	21,00	38,76	79,47	88,58	-	-
E-4	C/ CP	1,20	7,98	9,47	12,32	23,12	37,69	56,45	83,02	-	-	-	-
	S/ CP	1,20	4,84	7,33	10,52	21,42	32,04	54,13	75,46	-	-	-	-
E-5	C/ CP	0,18	14,69	32,28	79,80	89,49	-	-	-	-	-	-	-
	S/ CP	0,18	7,81	10,71	20,17	79,47	-	-	-	-	-	-	-
E-6	C/ CP	2,22	5,50	10,37	11,66	13,61	13,73	14,08	14,80	16,37	16,91	17,29	48,32
	S/ CP	2,22	3,34	6,04	6,27	8,71	7,03	8,25	9,07	8,37	10,08	11,94	14,75

**Obs.:** dados extras de temperatura ambiente, pluviometria e umidade relativa do ar durante o período de exposição podem ser analisados em REIS (2011).

Quanto ao E-6, os resultados apontam que, no LD sem CP, no 5º e 8º dias após o início do ensaio ocorreu diminuição no teor de ST presente na amostra, cuja causa se deve ao alto índice de pluviosidade nestes dias. Outro aspecto referente a este ensaio, ocorreu principalmente devido à ocorrência de chuvas, alta nebulosidade, queda de temperatura e menos horas de brilho solar (insolação), que consequentemente aumentou a duração do ensaio (11 dias) e atingiu um menor teor de ST (14,75% de ST sem CP e 48,32% com CP) em relação aos demais. No entanto, um aspecto positivo que deve ser destacado no E-6 é que, no LD com CP não houve decréscimo de percentual de ST nas amostras diárias coletadas, ou seja, por estar protegido contra chuvas, mesmo em dias muito chuvosos, ainda que de maneira mínima, houve progressão no desaguamento do LETA, além de ter obtido resultado de ST bem superior com CP (48,32%) comparado ao sem CP (14,75%).

Comparando-se os percentuais de ST finais do LD com e sem CP apresentados na Tabela 2, vê-se que as diferenças mais expressivas encontradas em um mesmo ensaio são referentes ao E-1 e E-6 (88,77% e 56,59%, e 48,32% e 14,75%, respectivamente), o que permite inferir que a 20cm de altura do LD a CP potencializa sua eficiência em relação à não utilização da CP. A Figura 2 ilustra graficamente o E-1 para facilitar a visualização e comparação.

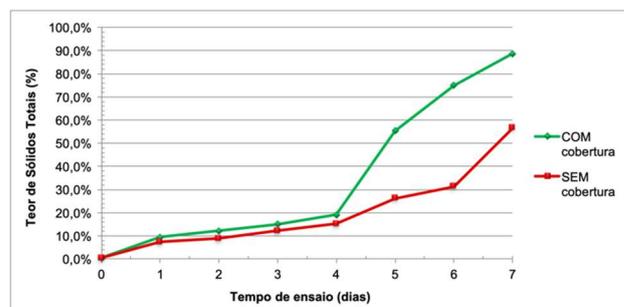


Figura 2. Comparativo do teor de sólidos (ST) do LETA no LD com CP (0,20m) e sem CP para o Ensaio E-1.

## 5. CONCLUSÕES

Ante o exposto, é possível concluir que:

- O uso de CP no LD acelera o processo de evaporação da água presente no LETA;
- A CP inibe a possibilidade de regredir no processo de secagem de LETA mesmo em condições adversas, como as precipitações;
- É importante que a CP não possua aberturas laterais tão grandes, cujos melhores resultados nesta pesquisa foram para altura de abertura lateral de 20cm;
- Todos os ensaios comparativos de desaguamento em LD com e sem CP demonstraram obter um LETA com menor teor de umidade quando se utiliza CP;
- O melhor resultado obtido foi no ensaio E-1, que obteve um lodo final 56% mais “seco” que na ausência de CP em 7 dias.



## REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L.; REIS, R. F.; CORDEIRO, J. S. **Leitos de drenagem para resíduos de ETAs: contribuição do PPGEU para municípios de pequeno e médio porte.** In: VENTURA et al. (2020) Org. 25 anos: programa de pós-graduação em engenharia urbana – PPGEU. São Carlos: UFSCar/CPOI, 2020.
- CORDEIRO, J. S. **Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs).** In.: ANDREOLI, C. V. et al. (2001). Coord. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB, 2001.
- CORDEIRO, J.S., REIS, R. F.; ACHON, C.L.; BARROSO, M. M. (2014). **Evolução dos Leitos de Drenagem (LD) no Brasil – uma década de avanços.** In: XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), Anais. Monterrey - México, 2014. Cod. 332-T8-Cordeiro-Brasil-1, 8 p.
- REIS, R. F. **Estudo de influência de cobertura plástica na remoção de água de lodos de Estações de Tratamento de Água em leitos de drenagem.** 131 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, São Carlos, 2011.

# LODO DE ETA E O DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE VEGETAÇÃO NATIVA

*Elaine Basilio Figueiredo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR),  
elainebasifigueiredo@gmail.com  
Rosane Freire Boina, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT/UNESP),  
rosane.freire@unesp.br*

**Palavras Chave:** Incorporação, Angico Vermelho, Destinação

## 1. INTRODUÇÃO

A destinação final adequada dos lodos de estação de tratamento de água (LETA) tem se tornado um desafio para as empresas de saneamento. Algumas alternativas de destinação adequada para os LETAs são descritas por diversos autores [1-4].

Dentre elas, Ferreira *et al.* [5] sugerem o reaproveitamento agrícola do LETA, uma vez que sua aplicação no solo apresenta ajuste de pH, aumento de capacidade de retenção de água e condições de aeração do solo. No entanto, ainda de acordo com os autores, lodo a base de alumínio possui menor potencial agrícola, visto que o alumínio não apresenta nenhuma função para o desenvolvimento das plantas, interferindo no crescimento e anatomia radicular das mesmas.

Diante dos possíveis efeitos causados pelo alumínio, observa-se a necessidade de desenvolvimento de trabalhos aplicados ao estudo do efeito da concentração da carga metálica presente no LETA no desenvolvimento de cultivos, bem como as dosagens de aplicação para obter-se um resultado satisfatório, levando em consideração parâmetros biométricos e evolução morfológica das plantas.

Tendo em vista a problemática apresentada, este trabalho teve como objetivo analisar o potencial agrônomo do lodo *in natura* e com carga reduzida de alumínio no desenvolvimento de vegetação nativa.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Amostragem

As amostras de lodo foram obtidas de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) que opera em ciclo

convencional e utiliza policloreto de alumínio (PAC) como coagulante. As amostras foram coletadas durante o período de limpeza dos decantadores, sendo acondicionadas em bombonas de polietileno.

### 2.2. Obtenção do lodo *in natura* e lodo com carga reduzida de alumínio

As amostras de lodo foram desaguadas em adensador gravitacional simples (tecido), à sombra. A umidade residual foi removida em estufa (100°C). Após, o material foi destorroado e triturado em moinho de facas e moinho de pratos. O produto resultante foi denominado lodo *in natura* (LETAIN).

Para obtenção do lodo com carga reduzida de alumínio (LETASA) foi aplicada uma adaptação da rota de extração alcalina-ácida [6]. Em uma solução 1:100 (m/v) de lodo homogeneizado, elevou-se o pH a 12. Após 12 horas de contato, o pH foi reduzido a 2 e assim permaneceu por mais 12 horas. Para ajuste de pH foram utilizadas soluções de hidróxido de sódio (NaOH – 50%) e ácido clorídrico (HCl – 20%), mantendo agitação mecânica constante da solução, atentando-se a manutenção do pH. O Procedimento foi realizado em duplicata e a temperatura ambiente (25°C ± 3°C). O material sólido resultante (LETASA) passou por novo adensamento, secagem e moagem.

### 2.3. Aplicação do lodo no solo e efeito no desenvolvimento de muda vegetal

Para avaliação do efeito da aplicação do LETAIN e LETASA no solo quanto ao desenvolvimento de uma espécie vegetal, foi escolhido a *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, popularmente conhecida como Angico Vermelho.

O Angico foi cultivado em quintuplicata considerando diferentes porcentagens de lodo (LETAIN e LETASA) incorporados em terra vegetal. O experimento envolveu 8 tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8) e mais um tratamento testemunha com 0 % de lodo. Assim, adotaram-se as seguintes proporções de LETAIN: 3% (T1), 5% (T2), 10% (T3) e 15% (T4) e 3% (T5), 5% (T6), 10% (T7) e 15% (T8) de LETASA. Ao todo, o experimento envolveu 45 unidades experimentais, dispostos aleatoriamente.

Foram realizadas medidas biométricas (altura da parte aérea e diâmetro do coleto) no momento do plantio até 90 dias de cultivo, em intervalos de 15 dias. A taxa de crescimento foi determinada por meio da Equação 1 e da Equação 2.

$$Tc.H = \frac{H-Hi}{t} \quad (1)$$

$$Tc.D = \frac{D-Di}{t} \quad (2)$$

Em que: Tc: taxa de crescimento (cm dia<sup>-1</sup>); H: altura da parte aérea (cm); Hi: altura inicial da parte aérea (cm); D: diâmetro do coleto (mm); Di: diâmetro inicial do coleto (mm); t: tempo de cultivo (dias).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Evolução morfológica da vegetação nativa

Verificou-se uma progressão linear no incremento de altura das mudas nos cultivos com aplicação do LETAIN (Figura 1) ao longo do tempo de estudo em relação aos tratamentos. Aos 60 dias de cultivo o tratamento testemunha representava as mudas com melhor desenvolvimento quanto a parte aérea. Destaca-se, no entanto, que as mudas cultivadas no tratamento 4 (15%) apresentaram maior valor de altura aos 90 dias, com 35,1 cm. De modo oposto, o tratamento com menor quantidade de LETAIN (T1), se mostrou menos interessante para o desenvolvimento do Angico. Assim, o efeito da dosagem foi favorável conforme aumentou-se a proporção de lodo na mistura solo, indicando que o incremento de nutrientes fornecido pelo LETAIN foi promissor e o pH do lodo (pH 5,5) não foi prejudicial para o desenvolvimento dos espécimes.

Para o LETASA (Figura 2), observou-se que os tratamentos 7 (10%) e 8 (15%) mantiveram um padrão de crescimento da parte aérea muito estável a partir dos 30 dias de cultivo, com incremento de 0,5 cm. Acredita-se que a estagnação no desenvolvimento das mudas durante o restante do período experimental seja devido ao pH do LETASA estar inferior a 5 (pH 3,8), estando assim, o Al<sup>3+</sup> disponível às plantas [7]. Destaques são dados para o tratamento 5 (3%) no qual obteve o maior valor de altura média (34,6 cm) aos 90 dias de cultivo, obtendo melhor desenvolvimento em comparado com o tratamento testemunha no mesmo período.

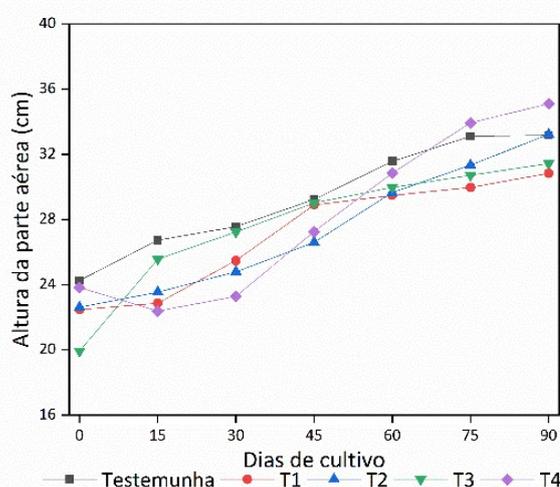


Figura 1. Altura da parte aérea dos cultivos no LETAIN

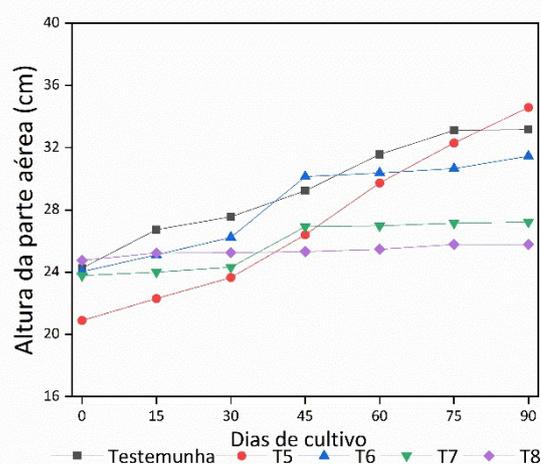


Figura 2. Altura da parte aérea dos cultivos no LETASA

Com relação ao incremento do diâmetro do coleto nos tratamentos com LETAIN (Figura 3), observou-se o crescente desenvolvimento das plantas, a

uma taxa linear, e pouca diferença entre os diferentes tratamentos ao longo do período experimental. O maior desenvolvimento do diâmetro do colete foi obtido no tratamento 3 (10%) aos 90 dias de cultivo com 8,6 mm.

De modo oposto, no LETASA (Figura 4), o incremento de lodo no solo não apresentou melhor desempenho em comparação com o tratamento testemunha. Tais resultados mostram prejuízos que o LETASA trouxe para o Angico.

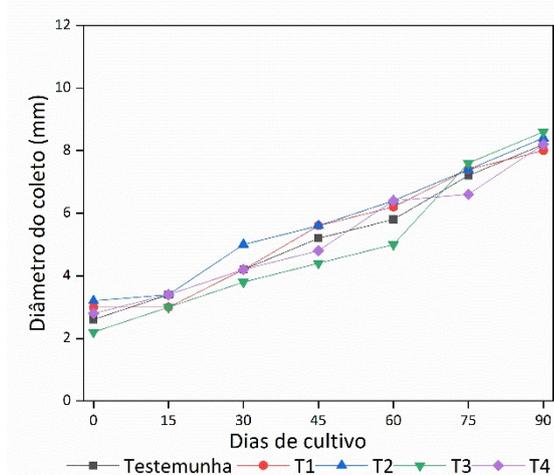


Figura 3. Diâmetro do Colete dos cultivos no LETAIN

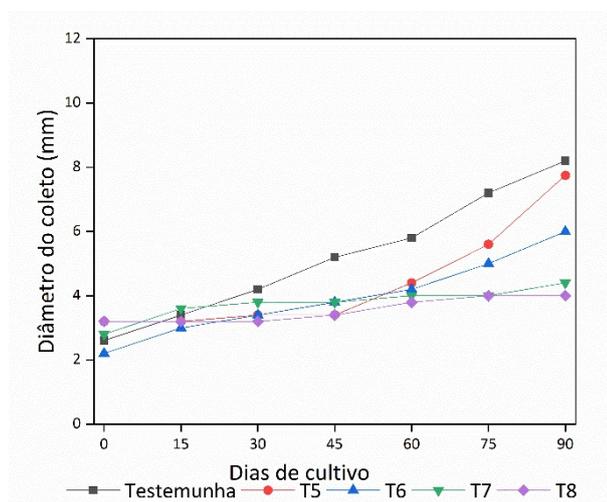


Figura 4. Diâmetro do Colete dos cultivos no LETASA

#### 4. CONCLUSÃO

Após avaliar os resultados, é possível concluir que a aplicação de LETAIN no solo foi favorável para o desenvolvimento do Angico Vermelho, desde que ocorra o controle minucioso do pH.

#### REFERÊNCIAS

1. TEIXEIRA, S. R.; SANTOS, G. T. A.; SOUZA, A. E.; ALESSIO, P.; SOUZA, S. A.; SOUZA, N. R. The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials. *Applied Clay Science*, v. 53, n. 4, p. 561-565, 2011.
2. SANTOS, A. S. P.; CRUZ, C. L. B. M.; RITER, E.; SILVA, J. C. Aproveitamento de lodo de ETA para produção de muda florestal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30. *Anais...Natal: ABES*, 2019.
3. YANG, L.; WEI, J.; ZHANG, Y.; WANG, J.; WANG, D. Reuse of acid coagulant-recovered drinking waterworks sludge residual to remove phosphorus from wastewater. *Applied Surface Science*, v. 305, p. 337-346, jun. 2014.
4. KEELEY, J.; JARVIS, P.; SMITH, A. D.; JUDD, S. J. Coagulant recovery and reuse for drinking water treatment. *Water Research*, Amsterdam, v. 88, p. 502- 509, 2015.
5. FERREIRA, A. C. S.; SILVA, J. B. G.; PEREIRA, R. O.; OLIVEIRA, A. P. S. Avaliação do capim Tifton cultivado em latossolo adubado com lodo de ETA. *Revista Internacional de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 07, n. 01, p. 64-83, 2017.
6. VILELA, R. L. T. *Avaliação do desempenho de coagulantes recuperados de lodo de ETA por extração via alcalina-ácida*. 2020. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Ilha Solteira, 2020.
7. BASSO, L. H. M. GONÇALVES, A. N.; SILVEIRA, L. V. A.; LIMA, G. P. P. Efeito do alumínio no crescimento de brotações de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivadas in vitro. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, n. 63, p. 167-177, 2003.

## O DESAFIO DO TRATAMENTO DE LODO DE UMA ETA DE 1.100 L/S

Silvana Pérez Echude, Saneamento Águas do Brasil S.A., [silvana.echude@grupoaguasdobrasil.com.br](mailto:silvana.echude@grupoaguasdobrasil.com.br)  
André Lermontov, Saneamento Águas do Brasil S.A., [andre.lermontov@grupoaguasdobrasil.com.br](mailto:andre.lermontov@grupoaguasdobrasil.com.br)

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Bag, Geotêxtil

### 1. INTRODUÇÃO

Implementar unidades de tratamento de Lodo em Estações de Tratamento de Água (ETAs) é um desafio atual no Brasil. A grande maioria das ETAs em funcionamento não possuem Unidades de Tratamento de Lodo (U.T.L) completas, realizando o descarte direto do lodo produzido ou somente tratamento preliminar. Por outro lado, implementar U.T.L. em ETAs já existentes é um desafio devido a fatores como área disponível, perfil hidráulico e características da água bruta. Além desses fatores, as características e procedimentos operacionais da ETA devem ser considerados, de forma que seja possível atingir o objetivo do tratamento de lodo sem alterar nem comprometer a capacidade e qualidade na produção de água potável.

O presente estudo apresenta um sistema de tratamento de lodo que foi implementado em uma ETA convencional previamente existente: a ETA Águas de Juturnaíba, que foi construída em 1980 e possui capacidade nominal de 1.100 L/s, com produção média mensal de 200 toneladas de torta de lodo 20% em massa.

### 2. DADOS OPERACIONAIS DA ETA

#### 2.1. Água bruta e coagulante

As características e a sazonalidade da água bruta, assim como o coagulante e sua dosagem, são dados que influenciam na quantidade do lodo a ser tratado. Portanto, esses dados devem ser considerados no dimensionamento de uma U.T.L. (DI BERNARDO, DANTAS *et al.* 2012). Na ETA Juturnaíba, as características da água bruta e do coagulante utilizado são indicadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Características da água bruta.

Parâmetro	Média	Percentil 90%	Percentil 95%
Turbidez (NTU)	10	25	110
Cor Aparente (uH)	45	80	450
E- Coli (NMP/100mL)	180	240	1500
Cianobactérias (cel/mL)	1500	4600	12000

Tabela 2. Consumo de coagulante (Sulfato de Alumínio Ferroso Líquido)

Parâmetro	Média	Percentil 90%	Percentil 95%
Dosagem (mg/L)	30	45	80

#### 2.2. Filtração

A filtração é do tipo rápida descendente, composta por bateria de 6 filtros, carreira de filtração média 35 horas e volume de água de lavagem 300 m<sup>3</sup>/lavagem.

As características dos sólidos provenientes das águas de lavagem do filtro da ETA são dadas na Figura 1.

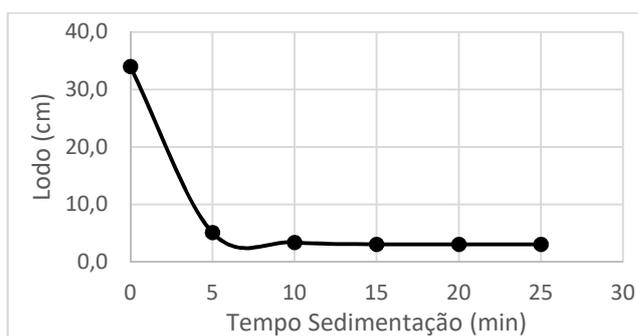


Figura 1. Resultados dos ensaios de sedimentação em proveta 1000 mL

#### 2.3. Decantação

A decantação é de alta taxa, composta por 4 módulos independentes, descargas de fundo de 107 m<sup>3</sup>/descarga, 1 a 2 descargas por decantador por dia, e limpeza completa por módulo a cada 30

dias, sendo descartados cerca de 1.340 m<sup>3</sup>/limpeza.

As características dos sólidos provenientes das descargas de fundo do decantador são dadas na Figura 2.

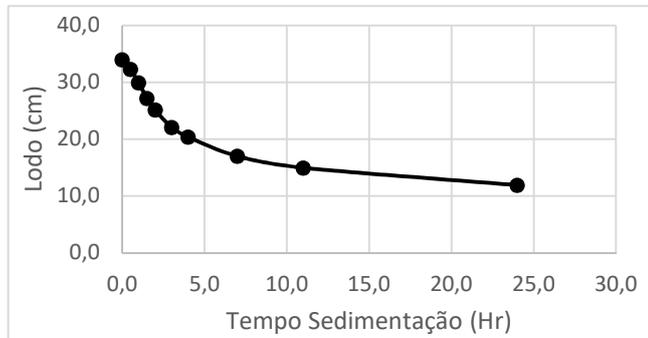


Figura 2. Resultados dos ensaios de sedimentação em proveta 1000 mL

### 3. UNIDADE DE TRATAMENTO DE LODO

#### 3.1. Descrição da unidade

A unidade de tratamento de lodo da ETA está em operação há mais de 10 anos. Ela é composta por um Tanque de Equalização e Clarificação das águas de lavagem dos filtros (T.A.L.) com capacidade útil 600 m<sup>3</sup>; um Tanque Receptor de Lodo (T.R.L), que recebe as descargas de fundo dos decantadores bem como a água de limpeza dos módulos de decantação, com capacidade útil de 2.000 m<sup>3</sup>; e um sistema de desaguamento por membrana Geotêxtil (Bag), composto por 6 unidades com capacidade unitária de 160 toneladas de torta de lodo 20%. A Figura 3 apresenta o fluxograma dessa unidade. Comenta-se que ambos os tanques têm cota de nível máximo de operação inferior à cota de ponto de descarga de lavagem dos filtros e dos módulos de decantação.



Figura 3. Fluxograma da Unidade de Tratamento de Lodo (U.T.L)

#### 3.2. Procedimento Operacional

Após cada procedimento de lavagem dos filtros, o efluente é encaminhado para o T.A.L. de forma automática, onde permanece por 30 minutos com objetivo de sedimentar e acumular os sólidos no fundo. Após esse período, a bomba de recalque é acionada e encaminha o clarificado para a entrada da ETA. Os sólidos acumulados no fundo do T.A.L. são descartados para o T.R.L. semanalmente.

O T.R.L. recebe ainda outras duas contribuições: o lodo grosso sedimentado no fundo dos decantadores, que é descartado diariamente, e a água de limpeza dos módulos de decantação, sendo essas limpezas efetuadas mensalmente. Um agitador mecânico superficial posicionado neste T.R.L. serve para homogeneizar a concentração do lodo a ser desaguado nas Bags, permitindo assim obter maior eficiência na aplicação do polímero catiônico.

O procedimento de desaguamento do lodo consiste, portanto, nessa dosagem de polímero catiônico, seguido de mistura rápida e encaminhamento para a membrana geotêxtil (Bag). O clarificado permeado dos Bags é encaminhado para uma bomba de recalque que o retorna por elevatória até a entrada da ETA.

Para reduzir o custo de remoção e transporte do lodo opera-se em batelada de 2 unidades de Bag. A duração da etapa de enchimento de uma Bag é de 40 a 70 dias, sendo utilizadas 2 unidades por dia, de forma alternada.

A etapa de secagem do Bag para atingir concentração da torta de lodo de 20% em massa tem duração de 20 a 30 dias. Nota-se que a concentração da torta de lodo pode chegar a 25%, sendo que quanto maior o tempo de secagem, maior será a concentração da torta de lodo. A remoção e transporte de cada unidade Bag se realiza em no máximo 4 dias.

#### 3.3. Produção e Destinação Final do Lodo

A produção de torta de lodo depende do volume de água tratada produzido e das características da água bruta (DI BERNARDO, DANTAS *et al.* 2012). No caso da ETA Juturnaíba, entre 1.900 a 2.500 toneladas de torta de lodo a 20% são produzidas. Conforme a NBR 1004, a classificação do resíduo

de lodo de ETA é Classe II, podendo ser inerte ou não inerte dependendo das concentrações de alumínio, manganês e ferro presentes (ABNT, 1997). Dessa forma, o resíduo deve receber disposição adequada; no caso desta ETA, o lodo vem sendo destinado a aterro sanitário controlado desde o início da operação. Entretanto, considerando os custos envolvidos nessa operação, bem como a busca por maior sustentabilidade nos processos das ETAs, há necessidade de alternativas para a destinação final da torta de lodo. Nesse sentido, um estudo desenvolvido em parceria com uma fábrica de tijolos evidenciou, mediante laudos e testes executados na própria fábrica, que é possível substituir até 5% da argila usada na fabricação de tijolos por lodo de ETA, sem alterar a qualidade do tijolo produzido (LOPES, SEIDEL *et al.*, 2017). Baseado nesse estudo, a fábrica deu entrada no pedido de autorização ambiental para incorporar o lodo da ETA Juturnaíba na sua produção de tijolos. Isso terá início no ano de 2021, após a emissão da referida autorização.

Além dos custos envolvidos no transporte e destinação final da torta de lodo, há outros custos operacionais envolvidos no seu tratamento propriamente dito (polímero, energia, mão de obra e membrana geotêxtil), que para a ETA Juturnaíba são dados na Tabela 3.

Tabela 3. Custos Operacionais.

	R\$/m <sup>3</sup> água produzida
Tratamento Lodo	0,012
Transporte + Destinação Final	0,017
Total	0,029

#### 4. CONCLUSÕES, AGRADECIMENTOS E REFERÊNCIAS

Neste trabalho se apresentou o estudo de caso da ETA Juturnaíba, um *case* de sucesso onde se implementou uma U.T.L em uma ETA convencional previamente existente. A U.T.L. é composta por dois tanques e um sistema de desaguamento por membrana geotêxtil, destacando-se por ser uma

unidade de tratamento completo do lodo, ao contrário do encontrado na operação da maioria das ETAs brasileiras, onde se faz descarte ou somente tratamento preliminar do lodo. A U.T.L. vem sendo operada com bons resultados há mais de 10 anos, produzindo torta de lodo com 20% em massa que atualmente é encaminhada à aterro controlado, mas brevemente poderá ser também encaminhada à fábrica para incorporação no processo de fabricação de tijolos.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: à Concessionária Águas de Juturnaíba pelo incessante trabalho e comprometimento para a melhoria contínua do processo, assim como pelo compartilhamento dos dados para publicação; ao setor de Pesquisa e Tecnologia do Saneamento Águas do Brasil, pela colaboração na definição da tecnologia a ser implementada na ETA; a Huesker pelo contínuo apoio técnico no uso das membranas geotêxtil; e à Fábrica de Tijolo Marajó pela parceria no desafio de implementar em grande escala o reuso do lodo da ETA na fabricação de tijolos.

#### REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos Classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.
- DI BERNARDO, L., DANTAS, A.D., VOLTAN, P.E.N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Paulo. Editora Cubo. 2012, 1ª edição.
- LOPES, G.K., SEIDEL B.B., DUARTE, C.S. Utilização do Lodo Gerado em ETAs na produção de tijolos. *In*: XIII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E IV INOVARE – RESPONSABILIDADE SOCIAL APLICADA, 2017, Rio de Janeiro.

## SISTEMA DE CONFINAMENTO DE RESÍDUOS: ESTUDO DE CASO LODO DE ETA

*Denise de Carvalho Urashima, CEFET-MG, urashima@cefetmg.br*  
*Ana Paula Moreira de Faria, CEFET-MG, apmfaria@gmail.com*  
*Mag Geisily Alves Guimarães, CEFET-MG, mag@cefetmg.br*  
*Beatriz Mydori Carvalho Urashima, UFOP, urashimabeatriz@gmail.com*  
*Matheus Müller, ITA, mrlmuller@gmail.com*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Filtração, Geotêxtil.

### 1. INTRODUÇÃO

A população mundial mais que dobrou nos últimos 70 anos, chegando a um aumento de 169 % (UNIC, 2019). Entre as implicações do aumento populacional está a dificuldade de acesso a água potável (BELLAYER; SANTOS, 2019). A explosão populacional nas últimas décadas, aliada ao desenvolvimento socioeconômico, fez com que o consumo de água potável crescesse numa taxa de aproximadamente 1% ao ano (UNESCO, 2020). Para atender esta demanda Estações de Tratamento de Água (ETA) foram implantadas.

A maioria das ETA's do Brasil foi construída há mais de cinco décadas, quando não se tinham obrigatoriedades legais, as quais adviriam da crescente preocupação em relação aos recursos naturais (AUGUSTO *et al.*, 2012).

No Brasil, priorizando-se atender à crescente demanda por água tratada, não houve, num passado recente, uma gestão ambiental que contemplasse investimentos para alternativas de tratamento, disposição e destinação dos resíduos gerados na potabilização. Ressalta-se a existência de várias legislações nacionais pertinentes à disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos gerados na produção de água potável, tornando eminente necessidade de buscar uma gestão integrada neste processo.

Assim sendo, este trabalho apresenta um estudo de caso de Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR) móvel, uma solução inovadora empregada, principalmente, em situações em que não há espaço físico disponível para emprego de outras técnicas de disposição de resíduos, dada a urbanização nos arredores da ETA, localizada na cidade de Mairiporã (SP).

### 2. RESÍDUOS DE ETA

#### 2.1. Contextualização

Os resíduos gerados nas ETA's, tais como lodos de decantadores e água de lavagem dos filtros, são materiais com alto teor de líquido adsorvido, na sua maioria superior a 95 %, e o restante formado por resíduos sólidos de difícil sedimentação (REALI *et al.*, 1999).

O volume desses resíduos pode corresponder a aproximadamente 5% sobre a produção de água por dia (ANDREOLI, 2001; NASCIMENTO JUNIOR, 2005). Para exemplificar, uma ETA convencional com capacidade de tratamento de 2400 L/s pode produzir 1,8 T/dia de resíduos (HOPPEN *et al.*, 2005).

#### 2.2. Problemática versus solução avaliada

ETA's mais antigas estão localizadas em áreas que se tornaram urbanas, inviabilizando a implantação de processos de tratamento e disposição de resíduos que necessitem de grandes áreas, como leitos de secagem. Este fato constitui uma problemática a ser resolvida. Estudos nesta temática têm se tornado cada vez mais relevantes, além da busca de seu correto manejo para minimizar o volume de material a ser disposto, com a redução de custos no transporte e na destinação final (FONTANA, 2005; HOPPEN *et al.*, 2005).

O lodo de ETA é um resíduo e não um rejeito conforme reportado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) segundo a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010). Por isso, o ideal seria uma gestão integrada, viabilizando o uso para fins mais nobres, que não apenas o destino final em aterros



sanitários (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2018; LIRA; CÂNDIDO, 2013).

No cenário exposto, Sistemas de Confinamento de Resíduos (SCR) constituídos por geossintéticos apresentam-se como uma alternativa promissora para o desaguamento de resíduos em áreas mais reduzidas. Esta tecnologia tem sido amplamente utilizada nas últimas duas décadas (SILVA *et al.*, 2020). O processo visa diminuir o volume do resíduo, viabilizando o transporte, descarte e reutilização do material desaguado (KHACHAN; BHATIA, 2017). Os primeiros registros literários do emprego de SCR datam da década de 90 (LAWSON, 2008; GUIMARÃES; URASHIMA, 2013).

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1. Delimitação do estudo

Esta pesquisa delimitou-se em analisar a situação do lodo de decantador de uma ETA Convencional do município de Mairiporã no estado de São Paulo, operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que permitiu o estudo de caso. A ETA estudada abastece a maior parte do município e está para ser desativada, possui capacidade atual de tratamento de 390 m<sup>3</sup>/h. A água bruta tratada na ETA é captada na Represa Paiva Castro.

Todo o entorno da área da ETA está totalmente urbanizado, não permitindo a ampliação da capacidade de tratamento de água e a implantação de dispositivos convencionais para o manejo dos resíduos gerados no processo.

#### 3.2. Sistema de disposição empregado

Devido à falta de espaço disponível na ETA em estudo, para viabilizar a limpeza total do decantador, visando diminuir o volume de lodo a ser disposto equivalente ao volume total de 330 m<sup>3</sup>, optou-se por um dispositivo de SCR móvel inovador, ou seja, um sistema de caçamba drenante com refil geossintético.

O SCR móvel completo apresenta uma central de condicionamento e é patenteado pela empresa SALUS Engenharia em Deságue no INPI (BR 202020009781-0). É um sistema constituído de caçamba do tipo *roll on roll of* adaptada para essa finalidade, com capacidade de 21,84 m<sup>3</sup>, sendo

6,5 metros de comprimento e 2,4 metros de largura e profundidade de 1,4 metros. O fundo da caçamba possui espaçadores internos (georredes) para drenagem do líquido desaguado e inclinação que permite a coleta e saída do percolado.

Para o condicionamento químico do lodo, a fim de viabilizar a retenção de sólidos constituintes e o seu deságue, foi empregado o polímero orgânico à base de poliácridamida em pó, sendo preparado na concentração de 1 g/L e dosagem de 36 L/minutos. Ressalta-se que o tipo de condicionante e sua concentração e dosagem devem ser avaliados para cada caso em estudo.

Para a confecção do SRC móvel foi empregado um geotêxtil tecido de polipropileno de alta tenacidade e aditivo para proteção contra radiação do tipo ultravioleta, com um bocal de enchimento com 0,30 m de diâmetro e costuras circunferenciais.

A função principal do geotêxtil é confinar as partículas sólidas de forma provisória ou permanente e permitir a passagem de fluido de dentro para fora, por meio de ciclos de enchimento e deságue.

### 4. METODOLOGIA

O sistema recebeu lodo adensado do decantador com vazão de entrada de 12m<sup>3</sup>/h, com teor de sólidos de 1% e com enchimentos de uma hora, seguidos de período de descanso para deságue de vinte e três horas, diariamente. O SCR móvel foi instalado em 16/09/2020 e retirado em 30/11/2020.

A exumação do SCR móvel ocorreu após 45 dias da instalação, sendo realizada uma abertura na parte superior do sistema, com o objetivo de verificar a situação do material sólido e coletar amostras para as análises.

Amostras do lodo desaguado foram coletadas do SCR móvel, em três distintos extratos (camadas), equivalentes aos três últimos ciclos de desaguamento, respectivamente.

As amostras foram coletadas (Figura 1) para a determinação do teor de umidade e teor de sólidos, conforme ABNT NBR 6457 (2016).



Figura 1. Camada mais externa no interior do SCR.

Foi calculada a Eficiência de Filtração (EF), que é a relação entre o valor de sólidos totais no lodo antes do desaguamento e de sólidos totais no filtrado após a filtração (MOO-YOUNG; TUCKER, 2002).

Posteriormente, foi calculada a Eficiência de Desaguamento (ED), que se refere ao percentual de sólidos totais do lodo antes e após o processo de deságue (MOO-YOUNG; GAFFNEY; MO, 2002). A Figura 2 ilustra esta situação.



(a)



(b)

Figura 2. Amostras obtidas: (a) Lodo do decantador; (b) Percolado após os primeiros desaguamentos.

## 5. RESULTADOS

O teor de umidade na camada mais interna foi de 37,06%, 27,91% na camada intermediária e 24,30% na camada mais externa, exumadas.

O teor de sólidos na camada mais interna foi de 12,76%, na camada intermediária foi de 15,28% e na camada mais externa de 18,24%.

O teor de sólidos por litro de percolado do SCR móvel foi de 0,13 gramas de sólidos por litro. Já o lodo do decantador apresentou 10 gramas de sólidos por litro de lodo.

Considerando o teor de sólidos final de 18,24% e as equações definidas na literatura, a EF do SCR móvel foi de 98,7%.

Empregando-se o teor de sólidos do lodo desaguado de 18,24% e o teor de sólidos inicial de 1%, alcançou-se o valor de ED igual a 94,5%.

## 6. CONCLUSÕES

Várias ETA's, por possuírem projetos de décadas, atualmente têm seus arredores totalmente urbanizados e, portanto, sem espaço para implantação de sistemas mais complexos para uma gestão sustentável.

Os SCR's se apresentam como alternativa promissora de desaguamento de resíduos gerados em ETA's, principalmente para os lodos de decantadores, que possuem maior concentração de sólidos do que as águas de lavagem dos filtros. Assim sendo, a referida técnica possibilita a diminuição do volume destes resíduos, possibilitando sua disposição final de forma adequada.

O sistema inovador de SRC móvel, apresentado nesse trabalho, vem como uma possível resposta ao atual desafio enfrentado pelas ETA's, principalmente naquelas que possuem pequenas áreas disponíveis, ou seja, com arredores urbanizados.

## AGRADECIMENTOS

À Empresa SALUS Engenharia em Deságue e à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

## REFERÊNCIAS

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Investigating calcined filter backwash solids as supplementary cementitious material for recycling in construction practices. **Construction and Building Materials**, Rio



- de Janeiro: Elsevier, n. 175, p. 664–671. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.227>. Acesso em: 06 mar. 2021.
- ANDREOLI, C.V. (coord.). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. **Projeto PROSAB**. Rio de Janeiro: ABES / RiMa, v. 2, p. 119-142, 2001, 257 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- AUGUSTO, L.G.S.; GURGEL, I.G.D.; CÂMARA NETO, H.F.; MELO, C.H.; COSTA, A.M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro: [s.n.], v.17, n. 6, p. 1511-1522, 2012.
- BELLAVER, E.H.; SANTOS, Z.M.Q. Impacto do crescimento populacional sobre recursos finitos. **Extensão em Foco**. ISSN 2317-9791, [s.l.], v. 6, n. 1, 2019. Disponível em: <https://45.238.172.12/index.php/extensao/article/view/1975>. Acesso em: 8 mar. 2021.
- BRASIL. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília, DF: Congresso Nacional, [2010]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm). Acesso em 10 mar. 2021.
- FONTANA, A.O. **Sistema de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantador e reuso de água de lavagem de filtros: estudo de caso – ETA Cardoso**. 2005. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2005.
- GUIMARAES, M.G.A.; URASHIMA, D.C. Dewatering Sludge in Geotextile Closed Systems: Brazilian Experiences. **Soils & Rocks**, Rio de Janeiro, v. 36, p. 251-263, 2013.
- HOPPEN, C.; PORTELLA, K.F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C.V.; PAULON, V.A. Codisposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmica**, São Paulo: [s.n.], v. 51, n. 318, p. 85-95, jun. 2005.
- KHACHAN, M.M.; BHATIA, S.K. The efficacy and use of small centrifuge for evaluating geotextile tube dewatering performance. **Geotextiles and Geomembranes**, [s.l.]: Elsevier, v. 45, n. 4, p. 280-293, abr. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2017.04.001> (2017). Acesso em: 07 mar. 2021
- LAWSON, C.R. Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. **Geosynthetics International**, [s.l.]: Elsevier, v. 15, n. 6, p. 384-427, 2008.
- LIRA, W.S.; CÂNDIDO, G.A. (org.). **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**. Campina Grande: EDUEPB, 2013. E-book (325 p). Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 06 mar. 2021.
- MOO-YOUNG, H.K.; GAFFNEY, D.A.; MO, X. Testing Procedures to asses the viability of dewatering with geotextiles tubes. **Geotextiles and Geomembranes**, [s.l.]: Elsevier, v. 20, p. 289-303. 2002.
- MOO-YOUNG, H. K.; TUCKER, W.R. Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. **Geotextiles and Geomembranes**, [s.l.]: Elsevier, v. 20, p. 191-212. 2002.
- NASCIMENTO JUNIOR, P. F. **Unidade de tratamento de resíduos - UTR de estação de tratamento de água – ETA: um complemento essencial para a preservação do meio ambiente**. 2005. Monografia (Pós-Graduação *lato sensu* em Saneamento Ambiental) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- REALI, M.A.P.; PATRIZZI, L.J.; CORDEIRO, J.S. Desidratação de lodos por centrifugação. **Projeto PROSAB**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, cap. 4, p. 85-106. 1999.
- SILVA, G.G.; DANTAS, A.D.B.; QUEIROZ S.C.B.; RODRIGUES, M.I.; GUIMARÃES, M.A.R. Uso da metodologia de superfície de resposta para avaliação do desaguamento de resíduos de estação de tratamento de água em filtração geotêxtil. **Revista AIDIS**, Cidade do México: [s.n.], v. 13, n. 3, p. 939-956. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.69559>. Acesso em: 06 mar. 2021.
- UNESCO World Water Assessment Programme. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos 2020: Água e mudança climática**. Tradução: Kelly Cristina Pereira de Moraes. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372>



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

882\_por?fbclid=IwAR0yBI24uVUHZp5Gm4pLws8vY  
jRmdq4AX282A-aUfcpyXtYjC8olwrON4JA. Acesso  
em: 07 set. 2020.

UNIC. CENTRO DE INFORMAÇÕES DAS NAÇÕES  
UNIDAS NO BRASIL. **População mundial: A ONU e a  
população mundial**. Rio de Janeiro: [s.n.], p. 1,  
2019. Disponível em:  
<https://unicrio.org.br/acao/populacao-mundial/>.  
Acesso em: 02 jun. 2020.

## USO DE GEOTÊXTIL NO DESÁGUE DE RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

*Mariângela Dutra de Oliveira, Instituto Federal do Espírito Santo, maridutrao@gmail.com*  
*Brenda Santos Tonon, Instituto Federal do Espírito Santo, bstonon@gmail.com*  
*Dominique Nápoli Caliarì, Instituto Federal do Espírito Santo, dominiquecaliari@hotmail.com*  
*Kamily Campos, Instituto Federal do Espírito Santo, kamillycampos2315@gmail.com*

**Palavras Chave:** Lodo, ETA, Desaguamento, Leito drenante, Geotêxtil

### 1. INTRODUÇÃO

Os principais resíduos gerados no tratamento de água são a água de lavagem dos filtros e o lodo. Estudos mostram que algumas Estações de Tratamento de Água (ETAs) do Brasil têm lançado esses efluentes diretamente em corpos d'água, ocasionando assoreamento e deterioração da qualidade da água dos rios e lagos, em casos que por exemplo, não cumprem as condições para lançamento previstas na Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005 (DE OLIVEIRA; RONDON, 2016; SANTOS et al., 2014).

Uma solução de disposição do lodo adequada seria os aterros. No entanto, o volume e o peso são elevados devido à grande quantidade de água presente nos interstícios das partículas de lodo, e logo, os custos de disposição e transporte também (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2008). Assim, a redução de seu volume, através da drenagem da água livre e secagem, apresenta-se como uma alternativa para viabilizar este descarte (PEREIRA E SILVA; SILVA; QUEIROZ, 2018).

Segundo Burgos et al. (2015), o desaguamento pode ocorrer através de sistemas naturais ou mecanizados, sendo os primeiros mais vantajosos em termos de custo, por não requerer equipamentos sofisticados e consumo de energia elétrica. Além disso, as condições climáticas e disponibilidade de área em algumas regiões do Brasil favorecem esse tipo de solução.

Diversos estudos têm mostrado a aplicação de tecido geossintético de alta resistência, que funciona como meio filtrante no processo de desaguamento do lodo, seja em leitos drenantes ou em sistemas fechados de confinamento de resíduos (SCR), também denominados bags ou

geobags (KIYOMI et al., 2014; SANTOS et al., 2014; SILVEIRA et al., 2015). Este trabalho buscou levantar, por meio de uma revisão de literatura, informações sobre o uso desta tecnologia nas ETAs.

### 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a revisão bibliográfica sistemática, que busca utilizar métodos explícitos, sistematizados e transparentes para apreciar de forma crítica artigos sobre o tema, sintetizando os resultados de forma confiável e reprodutiva (CERRAO, JESUS E CASTRO, 2018). Foram realizadas buscas às publicações eletrônicas técnico-científicas no banco de dados do Portal de Periódicos das Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e no Google Acadêmico. Para delimitação do objeto de estudo e o campo de investigação, optou-se por utilizar produções na forma de artigos publicados em periódicos, bem como trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, em português e em inglês, no período de 2010 a 2021.

Os descritores utilizados para as buscas estão apresentados na Tabela 1, junto com os operadores booleanos "AND", "NOT" e "OR", combinados de diferentes maneiras com os descritores. As exclusões foram definidas pela: não identificação dos descritores no título e resumo, identificação de outras formas de desaguamento do lodo, aplicação em lodo de estação de tratamento de esgoto, publicados em congresso e artigos em duplicata.

Foram incluídos artigos que abordavam o tratamento da água de lavagem dos filtros. As informações extraídas dos artigos foram: características do geotêxtil utilizado, do polímero

utilizado, taxa de aplicação do lodo, teor de sólidos do lodo desaguado, tempo de desaguamento e turbidez do drenado.

Tabela 1 – Descritores e Operadores booleanos utilizados

DESCRITORES E OPERADORES BOLEANOS	
(Sludge from water treatment plants) NOT (sewage OR (waste water) OR wastewater)	AND (Drainage bed OR Drying bed)
(Water treatment plant) NOT (sewage OR (waste water) OR wastewater)	AND bag AND (geotextile OR geosynthetic)

Fonte: elaborado pelos autores

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A combinação das palavras chaves e os operadores booleanos utilizados na busca, resultou em 4193 documentos. Após análise utilizando os critérios de exclusão e inclusão foram selecionados 30 documentos para leitura do resumo. O descritor “bag” trouxe resultados inexpressivos para a pesquisa. Dos 30 artigos selecionados para leitura, 70% estavam em português e 30% em inglês, 3 eram dissertações de mestrado e 27 artigos publicados em revistas, com uma predominância de publicações entre os anos de 2014 a 2020 como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Número de publicação por ano.



Fonte: elaborado pelos autores

Após leitura dos trabalhos foi realizado um segundo processo de exclusão com base nos critérios: artigos não conclusivos, de revisão, de quantificação do volume do lodo, referente ao desaguamento de lodo de esgoto, sem relação ao uso de geotêxtil. Após esta análise foram selecionados 13 artigos, conforme apresentado na Tabela 2, que foram categorizados entre os que utilizavam geotêxtil na forma de SCR, ou seja,

sistema fechado, e os que utilizavam o geotêxtil em sistemas abertos, para leitos de drenagem. Foram encontrados 8 trabalhos que avaliaram o uso de geotêxtil em leitos de drenagem e 3 que avaliaram o desaguamento com SCRs e 2 que avaliaram os dois tipos de uso. Dos 13 trabalhos, aproximadamente 38% fizeram uso de polímero para o desaguamento, e quando utilizado o do tipo catiônico, apresentou resultados mais favoráveis, quando comparado aos polímeros aniônicos ou não iônicos.

#### 3.1. Leito drenante

Kuroda et al. (2014), Santos et al. (2014) e Lustosa et al. (2017) avaliaram o desaguamento do lodo com 5 a 7 dias, encontrando teores de sólidos variando de 20% a 35%. Urashima et al. (2020) avaliou o desaguamento em um tempo de 17 dias, obtendo um teor de sólidos de 32%.

Silveira et al. (2015) avaliou o desaguamento no inverno e no verão em condições naturais e controladas para tempo de desaguamento de 5 e 13 dias. Os resultados encontrados para o tempo de desague de 5 dias para teor de sólidos variaram de 16% a 32% no inverno e 63% a 35% no verão e para 13 dias, de 60% a 33% no inverno e 75% a 87% no verão em condições naturais e controladas, respectivamente. Os valores encontrados são da mesma ordem de grandeza que os obtidos por desaguamentos mecânicos. Constatou-se que condições climáticas como ventilação e radiação solar influenciam na secagem, além da temperatura e umidade. Nestes trabalhos a taxa de aplicação (TAS) de lodo variou de 1,09 kgST/m<sup>2</sup> a 7 kgST/m<sup>2</sup>.

A turbidez do drenado é um dos indicadores para avaliar sua compatibilidade com os padrões de lançamento propostas pela Resolução 357/05 do Conama, para corpos de água doce (classes I e II), ou mesmo seu reaproveitamento na ETA. A turbidez do drenado é função das características da água bruta, bem como do processo de tratamento de água e de lodo. Os valores encontrados nos trabalhos variaram de 27 NTU com 17min (SILVA et al., 2020) a 3 NTU com 13 dias (SILVEIRA et al., 2015).



Tabela 2 – Relação de documentos analisados com características do geotêxtil utilizado.

AUTOR E ANO	CARACTERÍSTICAS DA MANTA				
	Bag e/ou LD	Massa/área (g/m <sup>2</sup> )	Espessura (mm)	Abertura (mm)	Tecido
OLIVEIRA (2010)	Bag e LD	600	0,5	0,49	PP
GUANAES et al. (2011)	Bag	280 a 1072,2	1,1 e 4,5	-	PP e PET
KURODA et al. (2014)	LD	150 a 600	-	-	-
SANTOS et al. (2014)	LD	-	-	0,15 e 0,25	PET
SILVEIRA et al. (2015)	LD	600	-	0,125	-
BURGOS et al. (2015)	LD	-	-	-	PET
LUSTOSA et al. (2017)	LD	-	2	0,145	-
MONTEIRO et al. (2018)	Bag	-	-	0,08	-
MULLER e VIDAL (2019)	Bag e LD	-	-	0,2	-
ARDILA et al. (2020)	Bag	414 a 895	4	0,05	PET e PP
SILVA et al (2020)	LD	445	-	0,02	PP
URASHIMA et al. (2020)	LD	-	-	0,25	PP
SANTOS et al. (2021)	LD	600	4,5	0,06	-

LD = Leito drenante; PP = Polipropileno; PE = Polietileno; PET = Poliéster

Fonte: elaborado pelos autores

### 3.2. Sistemas de condicionamento de resíduos

Nos poucos trabalhos de SCRs encontrados pode-se observar sempre o uso de polímero catiônico, com variações muito grande nos resultados. Guanaes et al. (2011) testou em bancada dois tipos de mantas encontrando para uma taxa de aplicação de 0,36 KgST/m<sup>2</sup> e 1,07 kgST/m<sup>2</sup> (Poliéster), um teor de sólidos no lodo de aproximadamente 10% para 6 min de desague, e turbidez do drenado inferior a 40 NTU. Monteiro et al. (2018) obteve para um período de 105 dias

de experimento uma turbidez do drenado de 199 NTU com uso de polímero e de 354 NTU sem o uso de polímero, valores incompatíveis com o padrão de lançamento. O trabalho apresentou elevados percentuais de eficiência na remoção de metais sendo: 99% do Fe, 98% do Cu, 99% do Pb, 47% do Mn, 100% do Zn e 100% do Al, com a adição de polímero. Ardila et al. (2020) obteve lodo com teor de sólidos de 48% a 61% após um período de 7 dias, bem superiores aos obtidos com tecnologias de desidratação mecânica além de produzir efluente compatível com os padrões de lançamento em corpos d'água Classe 2.

### 3.3. Leito de drenagem e SCR's

Os dois trabalhos que fizeram uma avaliação comparativa entre as duas tecnologias não são comparáveis pois apresentaram tempo de desague distintos (30 dias e 92 dias), entretanto, concluem que apesar dos leitos abertos ficarem susceptíveis a precipitação, o que pode prejudicar o desague do lodo, tem como vantagem as condições climáticas como irradiação solar e ventilação que favorecem o desague (MÜLLER; VIDAL, 2019; OLIVEIRA, 2010). Ao mesmo tempo os resultados são função direta da Taxa de aplicação superficial. Foi observado nesses dois trabalhos que menores TASs aplicadas facilitam o desaguamento.

## 4. CONCLUSÕES

A partir da revisão de literatura apresentada, constata-se a necessidade de realização de um número maior de estudos comparativos de sua eficiência e viabilidade econômica diante de outros tipos de unidades de desaguamento, seja em protótipos ou testes em estações de tratamento que tenham adotado tal tecnologia.

A variabilidade dos geotêxteis utilizadas, dosagem de polímeros e taxa de aplicação e tempo de desague, dificulta a comparação entre os artigos. A apresentação destes parâmetros bem como das características da água bruta e do resíduo gerado nas ETAs permitiriam imergir o leitor nas possíveis características que influenciariam na eficiência do geotêxtil utilizado, seja por meio de bag ou leito drenante.



## REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de drenagem: Sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 54–62, 2008.
- ARDILA, M. A. et al. Geotextile Tube Dewatering Performance Assessment: An Experimental Study of Sludge Dewatering Generated at a Water Treatment Plant. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 8129, 2 out. 2020.
- BURGOS, T. N. et al. Caracterização microbiológica e físico-química do lodo de decantadores das estações de tratamento de água após desaguamento em leito de drenagem com manta geotêxtil. **Revista Ciência e Saúde**, v. 17, n. jan-jun, p. 17–24, 2015.
- CERRAO, N. G.; JESUS, A. F.; CASTRO, F. F. O método de revisão sistemática da literatura (RS) na área da Ciência da Informação no Brasil: análise de dados de pesquisa. **Informação & Tecnologia (ITEC)**, v. 5, n. jan./jun, p. 105–116, 2018.
- DE OLIVEIRA, I. Y. Q.; RONDON, O. C. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, v. 17, n. 4, p. 687–698, 2016.
- GUANAES, E. A. et al. Análise laboratorial do desaguamento do lodo residual de estação de tratamento de água por meio de geossintéticos. **Educação & Tecnologia**. [S.l.], v. 14, n. 2, mar. 2011. ISSN 2317-7756. Disponível em: <<https://periodicos.cefetmg.br/index.php/revista-et/article/view/220>>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- KIYOMI, E. et al. Drenagem / secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil Drainage / drying of sludge decanters from WTP on geotextile blanket. **Revista DAE**, n. 194, p. 24–34, 2014.
- KURODA, E. K. et al. Drenagem / secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil. **Revista DAE**, v. 62, n. 194, p. 24–35, 2014.
- LUSTOSA, J. B. et al. Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água. **Revista DAE**, v. 65, n. 206, p. 44–61, 1 maio 2017.
- MONTEIRO, N. et al. Avaliação do desague de lodo físico-químico de estação de tratamento de água por Geotêxteis. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 11, n. 2, p. 266–277, 2018.
- MÜLLER, M.; VIDAL, D. Comparison between Open and Closed System for Dewatering with Geotextile: Field and Comparative Study. **International Journal of Civil and Environmental Engineering**, v. 13, n. 10, p. 634–639, 2019.
- OLIVEIRA, N. S. Estudo da secagem de lodo de estação de tratamento de água. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental: UFPR. Curitiba, 2010.
- PEREIRA E SILVA, L. D.; SILVA, G. G.; QUEIROZ, S. C. B. **Variáveis de influência no desaguamento de lodo de ETA por tecido geotêxtil**. Jornada de Iniciação Científica e Extensão - JICE. **Anais...** Palmas: 2018
- SANTOS, B. et al. 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. **Ciencia y Engenharia/ Science and Engineering Journal**, v. 23, n. 1, p. 65–71, 1 jan. 2014.
- SILVA, G. G. et al. Uso da metodologia de superfície de resposta para avaliação do desaguamento de resíduos de estação de tratamento de água em filtração geotêxtil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 13, n. 3, p. 939, 6 dez. 2020.
- SILVEIRA, C. et al. Desaguamento do lodo de estações de tratamento de água por leito de drenagem/secagem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 297–306, 1 abr. 2015.
- URASHIMA, B. M. C. et al. Sistema de confinamento de resíduos empregando geotêxteis comparados a leito de drenagem para desaguamento de lodo de estação de tratamento de água. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25244–25260, 7 maio 2020.

## ÍNDICE DE AUTORES

autor	páginas
ACHON, C. L. ....	35, 39, 120, 151, 155,166,170
AGUIAR, T. D. ....	21
ALBUQUERQUE, A. ....	15, 58
ALVES, M. ....	100
ALVES, S.R.A. ....	124
ANDRADE, M. V. F. ....	113
ANGELIM, R. R. ....	10
ANGELIM, S. C. M. ....	10
APARICIO ARDILA, M. A. ....	148, 163
AQUINO, S. F. ....	100
ARAUJO, F. C. ....	15
ARAUJO, M. P. ....	128
ARRUDA, P. N. ....	100
BARROS, A. C. T. ....	136
BARROSO, M. M. ....	35, 151
BASTOS, R. K. X. ....	61, 81, 104
BAYDUM, V.P.A. ....	124
BELLOTTI, L. R. ....	31
BENETTI, A.D. ....	46
BORBA, A. L. A. ....	77
BOSCOV, M. E. G. ....	1, 18, 28
CABRAL, V. A. L. ....	81, 104
CALIARI, D. N. ....	185
CAMARGO, I. M. C. ....	18
CAMPOS, K. ....	185
CARNEIRO, A. M. P. ....	65
CAVALEIRO, V. ....	58
CHAO, I.R.S. ....	69
CHAVES, V. T. ....	69
CONTRERA, R. C. ....	69

CORDEIRO, J.S. ....	35, 151, 170
CRUZ, C. L. B. M. DA ....	85
CRUZ, D. B. ....	96
DA SILVA, S. W. ....	89
DE FARIA, A. P. M. ....	180
DE SOUZA, F.B. ....	46
DUTRA, M. S. ....	132
ECHUDE S. ....	177
EL-DEIR, S. G. ....	128
ETCHEPARE, R. G. ....	43
FELICIO, M. C. ....	92
FERREIRA, G. O. ....	39
FIGUEIREDO, E. B. ....	174
FONSECA, R. S. C. ....	159
FONTANA, A. O. ....	151
FREIRE, R. ....	77
FREIRE-BOINA, R. ....	31, 174
FREITAS, C. F. ....	108
FREITAS, M. R. ....	144
FROTA, T. B. ....	89
GEHLING, G. R. ....	89
GHELLER, M. B. ....	54
GODINHO, T.J.D. ....	61
GOMES, F. B. M. ....	113
GOMES, M. C. S. ....	54
GONÇALVES, C. V. C. ....	24, 140
GUANAES, E. A. ....	144
GUIMARÃES, M. G. A. ....	180
HEMSI, P. S. ....	50
HIGASHI, R. J. A. ....	18
ISAAC, R. L. ....	120
JABUR, A. S. ....	117
LEMES, F. ....	124
LERMONTOV, A. ....	177
LINS DA SILVA, J. ....	148, 163
LUIZ, A. M. F. ....	117

MARCHIORI, L. ....	58
MARQUES, D. G. ....	92
MARTINS JÚNIOR, A.C.O. ....	46
MAZZA, C. F. ....	108
MENDES, K. G. P. ....	24, 140
MENDES, P. R. A. ....	136
MINATEL, M. M. ....	39, 155, 166
MONTALVAN, E. L. T. ....	28
MORAES, L. H. L. ....	108
MORAIS, M. ....	58
MORITA, D.M. ....	69
MOTTA, M. F. B. ....	159
MÜLLER, M. ....	144, 159, 180
NEITZEL, L. H. ....	24, 140
OLIVEIRA, G.L.A. ....	96
OLIVEIRA, M. D. ....	185
OLIVEIRA, M. H. L. ....	54
PAFFRATH, S. F. ....	43
PATRIZZI, L.J. ....	148
PEREIRA, R. O. ....	132
PINHEIRO, R. J. B. ....	6
PRADO, A.G. ....	124
REINA, V.P. ....	46
REIS, R. F. ....	92, 151, 155, 166, 170
RIBEIRO, A. G. C. ....	73
RIBEIRO, V. A. S. ....	77
RITTER, E. ....	85
SAMPAIO, D. M. ....	24, 140
SANSON, A. L. ....	100
SANTANA, J.E. ....	124
SANTOS, A. S. P. ....	85
SANTOS, E. F. ....	6
SANTOS, M. D. ....	65
SANTOS, T. C. C. ....	73
SCALIZE, P. S. ....	10, 15, 21, 100
SCAPIN, J. ....	6



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

SGORLON, J. G. ....	54
SILVA, A. DOS S. ....	50
SILVA, B.M.R. ....	61
SILVA, G. M. P. ....	155, 166
SILVA, L. R. ....	120
SILVA, M.C.A. ....	46
SOARES, R. V. ....	117
SOUZA, L. S. ....	73
SOUZA, S. T. ....	163
STUDART, A. ....	58
TAKEDA, M. C. ....	39
TAVARES, R. G. ....	128
TONON, B. S. ....	185
TSUGAWA, J. K. ....	1
URASHIMA, B. M. C. ....	180
URASHIMA, D. C. ....	180
VASCONCELOS, A. R. C. ....	113
VASCONCELOS, A.D. C. ....	113
VIDAL, D. M. ....	96, 144

## AGRADECIMENTOS

A Comissão Organizadora do LETA2021 agradece:

- à Geotecnia Brasil pelo acolhimento e divulgação online do evento, fundamental para atender o objetivo de estender a participação a todos que se interessam pelo tema;
- aos apoiadores pelas chamadas de divulgação que permitiram atingir profissionais e estudantes das diversas áreas do conhecimento;
- ao corpo revisor dos trabalhos cuja atuação contribuiu para a qualidade destes anais;
- aos moderadores, palestrantes e apresentadores que abrilhantaram o evento;
- à Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, ABMS, que gentilmente nos forneceu o DOI deste volume;
- aos responsáveis pela comunicação, Prof. José Antonio Schiavon, pelo desenvolvimento e manutenção do site e aos membros do Núcleo Jovem, Maria Alejandra Aparicio Ardila, Gabriel Luis Anibal de Oliveira e Lucas Rodrigues Belotti pelo desenvolvimento e manutenção das mídias sociais.



# LETA 2021

1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

**CONEXÕES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**