

**ESTIMATIVA DE GERAÇÃO FINAL DE LODO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO NA ETA DE MARINGÁ**

Luiz Roberto Taboni Junior(*), Danielly Cruz Campos Martins, Ana Paula Jambers Scandelai, Valdir Costa Junior

* Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Urbana, junior_lrt@hotmail.com

RESUMO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) são responsáveis por converterem a água bruta em potável, gerando ao final do processo de tratamento resíduos que são denominados de lodo de ETA. Atualmente, a maioria das estações lançam esses resíduos em corpos hídricos, acarretando um conjunto de impactos ambientais, os quais se destacam: alteração da turbidez e cor das águas superficiais, assoreamento do corpo receptor e aumento da taxa de mortalidade de peixes. Apesar disso, existem sistemas de gerenciamento que são capazes de quantificar e promover a destinação e disposição de forma adequada do lodo. O presente artigo tem como objetivo apresentar a estimativa quantitativa de lodo gerado na estação de tratamento de água de Maringá – PR, por meio do método empírico proposto pela Cetesb, Kawamura e Richter e, a partir destes dados, fornecer medidas de destinação final do material, considerando os aspectos econômicos e ambientais. Com o estudo, verificou-se que a ETA de Maringá gera uma grande quantidade de resíduo, que não deve ser lançado sobre as vias hídricas existente na região. Em relação a destinação do lodo o mais propício, considerando os aspectos econômicos, ambientais e sociais, são em indústrias de fabricação de cerâmica vermelha e as fábricas que produzem blocos tipo *paver*.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de Lodo de ETA, Estimativa Quantitativa, Destinação Final do Lodo, Cerâmica Vermelha, Bloco de Concreto.

ABSTRACT

Water Treatment Plants (WTPs) are responsible for turning raw water into drinking water; consequently, the end of this process generates waste known as WTP sludge. Currently, most of the plants dispose of this waste into water bodies, resulting in a set of environmental impacts, which include: alteration of turbidity and color of surface waters, sedimentation of the receiving river and increase in the rate of fish mortality. Despite this, there are management systems capable of properly quantifying and disposing of sludge. This paper aims to present the quantitative estimate of the sludge generated at the WTP of Maringá – PR and to provide final disposal measures of the material, considering the economic and environmental aspects. The data are analyzed through the empirical method proposed by Cetesb, Kawamura, and Richter. The WTP of Maringá generates a large amount of waste, which should not be disposed of in the existing waterways in the region. The suggested disposal methods, considering the economic, environmental and social aspects, are industries of manufacture of red ceramics and factories that produce paver blocks.

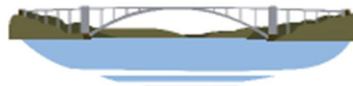
KEY WORDS: WTP Sludge Generation, Quantitative Estimation, Final Sludge Allocation, Red Ceramics, Concrete Block.

INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água (ETA) são responsáveis por removerem matéria orgânica, e partículas coloidais e suspensas existentes na água bruta a ser convertida em água para consumo humano, por meio do uso de um conjunto de etapas de tratamento. No Brasil, o sistema mais comum de operação é o do ciclo completo, composto pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação, que seguem o padrão de potabilidade estabelecido pelo anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

Como resultado da conversão da água bruta em potável, tem-se a geração de resíduos sólidos, que são provenientes do regime de decantação e filtração. De acordo com Ahmad *et al.* (2016), esse resíduo é conhecido como lodo de ETA, que apresenta propriedade de não imersão e umidade acima de 80% em relação ao seu peso total.

Em geral, a disposição final desse lodo ocorre em corpos hídricos, causando impactos ambientais nos mesmos, como o aumento da taxa de assoreamento e da concentração de metais na comunidade aquática, redução da capacidade de autodepuração dos rios, redução na disponibilidade de áreas para o lazer, entre outros.



Com o intuito de diminuir as adversidades causadas pelo lançamento de lodo em corpos hídricos e com base no conceito de ecologia industrial, pesquisas são desenvolvidas no sentido de viabilizar o seu aproveitamento em processos produtivos, sobretudo para atender às legislações ambientais (BABATUNDE; ZHAO, 2007). Ainda que passível de reaproveitamento, é primordial que as estações de tratamento tenham conhecimento da quantidade de lodo gerado durante o processo de tratamento da água bruta para a sua conversão em água potável.

Atualmente, o método mais comum para quantificar a geração de lodo é por meio de fórmulas empíricas, que levam em consideração a qualidade da água bruta (em termos de cor e turbidez), a dosagem de coagulante utilizado no processo de coagulação, a existência de aplicação de insumos auxiliares, como cal e carvão ativado em pó (CAP), e a vazão da água tratada. Dentre os métodos mais utilizados, podem ser citados os desenvolvidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) (1987), por Kawamura (1991) e por Richter (2001), os quais permitem estimar a produção de sólidos, em matéria seca, em função dos aspectos acima mencionados.

OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo estimar a geração de lodo na estação de tratamento de água de Maringá-PR, mediante a utilização dos métodos desenvolvido pela Cetesb (1987), Kawamura (1991) e Richter (2001) e, a partir dos dados obtidos, propor medidas acerca do gerenciamento deste resíduo sólido.

METODOLOGIA

Local de estudo

O estudo foi realizado na estação de tratamento de água de Maringá, cidade localizada ao noroeste do Paraná. O município apresenta uma população de, aproximadamente, 400 mil habitantes, com taxa anual de crescimento de 0,90% (IBGE, 2017). A tecnologia de tratamento utilizada pela companhia de saneamento é do tipo convencional com ciclo completo de operação. Atualmente, a ETA possui capacidade para produzir 1.440 L s⁻¹ de água potável, atendendo 85% da população da cidade. Os insumos e processos utilizados para tratar a água *in natura* (bruta) estão apresentados no Quadro 1.

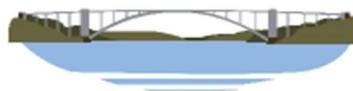
Quadro 1. Processos e insumos adotados na ETA de Maringá.

Fonte: Autores do Trabalho.

Processo de tratamento	Sistema ou insumo utilizado
Coagulação	Mistura Hidráulica
Floculação	Mistura mecânica e hidráulica
Decantação	Com placas
Filtração	Descendente
Desinfecção	Em tanque de contato
Fluoretação	Em tanque de contato
Outras etapas	Não
Coagulante auxiliar	Não
Coagulante utilizado	Policloreto de alumínio (PAC)
Remoção de algas	Gás cloro
Desinfecção	Gás cloro
Fluoretação	Ácido fluossilícico

Quantificação pela aplicação de fórmulas empíricas

Os métodos utilizados para estimar a geração de lodo foram os desenvolvidos pela Cetesb (Equação 1), por Kawamura (Equação 2) e por Richter (Equação 3). Os dados necessários para a quantificação foram fornecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), a qual monitora a qualidade da água bruta que chega até a ETA, a cada 60 min, durante 24 h dia⁻¹, por meio de análises físico-químicas. Foram estudadas 744 amostras mensais e o período de quantificação ocorreu entre abril e setembro de 2018, totalizando-se 4464 amostras utilizadas para a estimativa da produção de lodo na ETA. A partir desses dados de cor aparente, turbidez e dosagem de coagulante, foram realizados os cálculos da estimativa de quantificação por meio dos métodos empíricos, descritos a seguir.

**Método Cetesb**

$$P = (0,23 \times AS + 1,5 \times T_u)$$

Equação (1)

Em que P é a estimativa de produção de sólidos em matéria seca (kg de matéria seca m⁻³ de água bruta tratada); AS é a dosagem de coagulante (mg L⁻¹); T_u é a turbidez da água bruta (uT).

Método de Kawamura

$$P = (D \times Fc_1) + (T_u \times Fc_2)$$

Equação (2)

Em que P é a estimativa de produção de sólidos em matéria seca (kg de matéria seca m⁻³ de água bruta tratada); D é a dosagem de coagulante (mg L⁻¹); Fc₁ é o fator dependente do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio proposto por Kawamura, que usualmente varia entre 0,23 a 0,26; T_u 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, com faixa variante entre 1,0 a 2,0.

Método de Richter

$$P = 0,2 \times C + 1,3 \times T_u + k \times D$$

Equação (3)

Em que P é a estimativa de produção de sólidos em matéria seca (kg de matéria seca m⁻³ de água bruta tratada); C é a cor da água bruta (uC); T_u é a turbidez da água bruta (uT); k é a relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido de sódio e D é a dosagem do coagulante (mg L⁻¹).

De acordo com Reali e Patrizzi (1999), a relação estequiométrica (k) varia em função do tipo de coagulante utilizado pela ETA, podendo ser de 0,23 a 0,26, para o sulfato de alumínio e PAC; 0,54 para sulfato férrico; 0,66 para o cloreto férrico anidro e 0,4 para o cloreto férrico hidratado.

RESULTADOS

A partir dos dados de cor aparente e turbidez da água bruta das 744 amostras mensais, assim como da dosagem de coagulante, foi calculada a média dos seus valores, as quais são apresentadas nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente, para a quantificação da estimativa da geração de lodo na ETA em estudo.

No que se refere aos dados de cor aparente (Figura 1) e turbidez (Figura 2), constatou-se que as maiores oscilações ocorreram nos meses em que a precipitação pluviométrica foi maior (abril, junho, agosto e setembro), o que também reflete na maior dosagem de coagulante utilizada no mesmo período (Figura 3). Isso ocorre devido ao aumento de matéria orgânica e partículas sólidas que chegam até os rios, por meio do processo de carreamento. Outro fator responsável por influenciar na oscilação das amostras é o tipo de solo encontrado na região norte e noroeste do estado do Paraná, que é rico em minérios, principalmente em ferro, o qual promove coloração das águas.

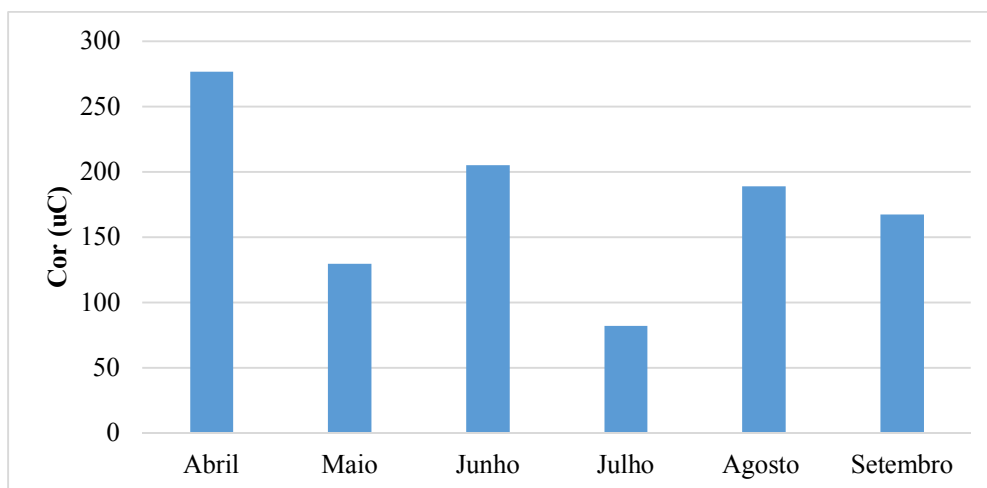


Figura 1: Cor da água bruta no período de estudo, em uC. Fonte: Autores do Trabalho.

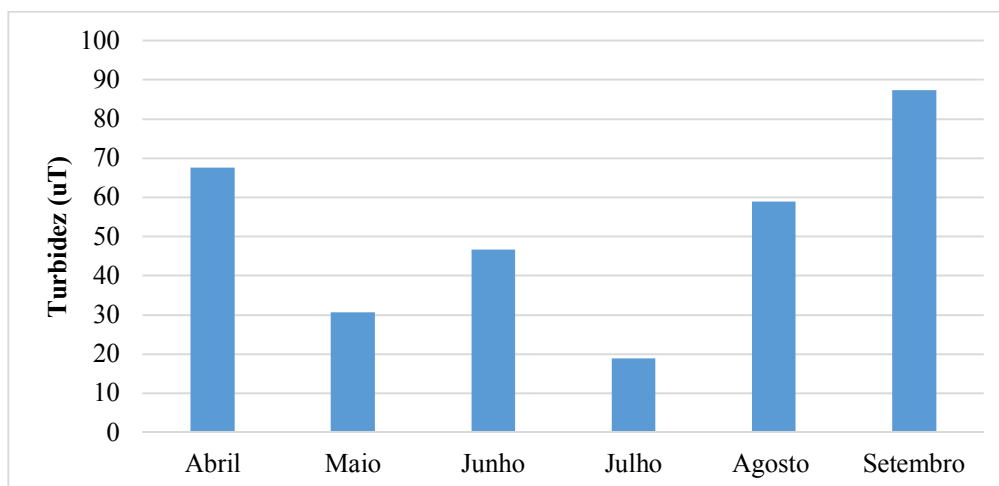
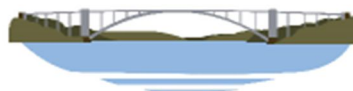


Figura 2: Turbidez da água bruta no período de estudo, em uT. Fonte: Autores do Trabalho.

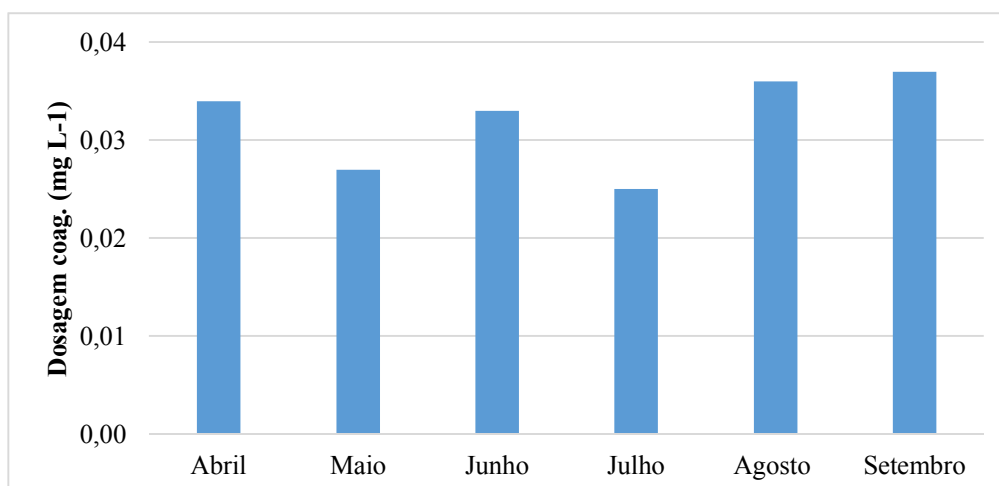


Figura 3: Dosagem de coagulante no período de estudo, em mg L⁻¹. Fonte: Autores do Trabalho.

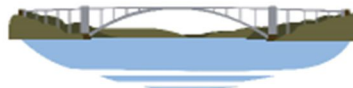
A partir dos dados apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, foi realizado o cálculo da estimativa de geração de lodo na ETA, os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Quantificação de lodo na ETA de Maringá-PR, em kg de matéria seca m⁻³ de água bruta tratada. Fonte: Autores do Trabalho.

Mês	Método Empírico		
	Cetesb (1987) Ton/mês	Kawamura (1991) Ton/mês	Richter (2001) Ton/mês
Abril	3143,18	3143,20	4438,73
Maio	1425,42	1425,43	2039,55
Junho	2169,93	2169,94	3153,23
Julho	880,43	880,50	1271,09
Agosto	2737,71	2737,73	3542,66
Setembro	4066,69	4066,70	4562,76

Na Tabela 1, verifica-se que os resultados obtidos pelo método da Cetesb e de Kawamura apresentam valores de geração de lodo quase idênticos; enquanto que o método proposto por Richter, forneceu valores superiores, o que pode ser devido à esta fórmula empírica considerar, em seus cálculos, a cor da água bruta.

Tendo em vista que a ETA de Maringá gera, mensalmente, uma grande quantidade de resíduo, mostra-se necessário o desenvolvimento de um plano de gestão que busque tratar e dispor o lodo sem que ocorram danos ambientais, sociais e econômicos decorrente dessa disposição. No entanto, primordialmente, é necessário que a atual administração invista em



sistemas de desaguamento do lodo, para obtenção de menor volume de resíduo, uma vez que o mesmo é formado por alto teor de água, o que inviabiliza economicamente o seu transporte.

Segundo Souza (2009), os principais métodos de desaguamento são as lagoas de lodo, os leitos de secagem, filtro prensa de esteiras e filtro prensa de placas. Destes, o sistema mecânico de filtro prensa entre placas é o método mais eficiente, fornecendo uma torta de lodo com teor de sólidos superior a 35%. As lagoas de lodo são, atualmente, consideradas inviáveis, entrando em desuso, devido à necessidade de grandes áreas para armazenamento do lodo, que é seco pelo calor solar.

O desaguamento do lodo produz um material sólido que deve ser destinado a aterros específicos. No entanto, diversos estudos têm buscado a sua incorporação em materiais, o que permite que o lodo seja matéria-prima para diversos produtos. Dentre as técnicas mais viáveis de incorporação do lodo na indústria produtiva, podem-se citar a fabricação de blocos cerâmicos não estruturais, agregação em matriz de concreto, recuperação de áreas degradadas, cobertura de aterro sanitário, aplicação em culturas agrícolas (mediante tratamento específico, com cal), compostagem e cultivo de grama comercial (TEIXEIRA *et al.*, 2006).

Na área de pesquisa sobre a utilização de resíduos de ETA, as indústrias existentes são as de blocos cerâmicos e de blocos intertravados. Em relação a agregação para a fabricação de cimento, as principais indústrias estão localizadas na região metropolitana de Curitiba, inviabilizando deste modo a destinação final do lodo gerado na ETA de Maringá, quando considerado os aspectos econômicos.

Para garantir a incorporação do resíduo, é de suma importância que se realize ensaios laboratoriais para analisar o efeito da incorporação sobre o produto final. O Quadro 2, apresenta as análises necessárias para garantir a qualidade da cerâmica incorporada e o subitem posterior expõe os principais resultados encontrados na literatura na área de aproveitamento de lodo na fabricação de blocos cerâmicos e também no campo da indústria cimenteira.

Quadro 2. Análises necessárias para garantir a qualidade da cerâmica com lodo.

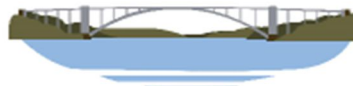
Fonte: Autores do Trabalho.

Análise do lodo	Análise das peças de concreto	Análise da cerâmica com lodo
Temperatura	Expansibilidade a quente	Perda ao fogo
pH	Tempo de pega	Textura
Turbidez (UNT)	Consistência normal	Perda ao cisalhamento
Teor de umidade (%)	Área superficial Blaine	Ruptura
Massa específica aparente (g cm ⁻³)	Óxidos totais	Peso específico
DQO (mg L ⁻¹)	Massa específica aparente	Limite de plasticidade
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	Resistência à compressão axial	Limite de liquidez
Granulometria	Ensaio de lixiviação	Cor da cerâmica
-----	Absorção da água	-----
-----	Ensaio de solubilização	-----
-----	Umidade	-----
-----	Modulo de elasticidade	-----
-----	Resistência a tração	-----

Resultados encontrados na literatura acerca do aproveitamento do lodo na indústria cerâmica e cimenteira

Sabbag (2003) realizou uma sequência de estudos sobre a utilização do lodo de ETA de Cubatão – São Paulo em misturas de argilas para a produção de blocos cerâmicos. Como resultado, obteve que a incorporação do material não deve ultrapassar 12,5% da massa de argila, devido aos baixos valores obtidos nos testes laboratoriais de compressão.

Analisando as alterações da microestrutura da cerâmica argilosa, Vieira e Monteiro (2009), realizou a queima da cerâmica vermelha a 700°C incorporada com lodo de filtro de ETA. Seu estudo concluiu que a incorporação deste resíduo ocasionou o aumento dos defeitos das microestruturas cerâmicas. Isto ocorreu, por conta da eliminação de matéria orgânica durante a etapa de queima. No entanto, é viável a utilização do lodo de ETA em cerâmica em pequenos percentuais (abaixo dos 7%) para minimizar seus efeitos sobre a qualidade do material.



Margem (2008) pesquisou a introdução de lodo resultante da limpeza dos decantadores em blocos cerâmicos. As amostras com até 10% em peso de resíduo resultou no aumento da absorção da água e diminuição da resistência mecânica do bloco. Deste modo, concluiu-se que a utilização de lodo de ETA em cerâmicas vermelhas deve ser realizada em pequenas quantidades para não prejudicar a sua funcionalidade. Ainda, de acordo com Callister Junior (2002), a incorporação de lodo em peças cerâmicas deve seguir as recomendações da Associação Brasileira de Cerâmica, conforme exposto no Quadro 3.

Quadro 3. Classificação da cerâmica.

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Cerâmica (2010).

Grupo cerâmico	Definição
Cerâmica vermelha	Formado por materiais com coloração avermelhada utilizados em sua maioria na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas).
Cerâmica branca	A classificação da cerâmica branca é baseada na constituição da cerâmica revestida em modo geral por uma camada de vítrea transparente e incolor
Revestimentos	Sua usabilidade é aplicável principalmente em paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos.

Maram *et al.* (2010) investigaram a aplicação do lodo de ETA para a produção de cerâmica artística. Entretanto, o lodo deve ser submetido a um tratamento prévio, visto que o lodo *in natura* promove a ocorrência de defeitos nas peças sintetizadas.

No que tange a usabilidade do lodo em matriz de concreto, Sales e Souza (2009) explanam que a agregação do resíduo em concreto tem como finalidade inicial oportunizar a reciclagem do resíduo de ETA, mitigando a disposição final em aterros ou em corpos d'água. Alguns estudos demonstraram que a incorporação reduziu a resistência mecânica, inviabilizando sua inclusão em concreto estrutural. Huang e Wang (2013) afirmam que os resíduos juntamente com agregado leve seguem de acordo com a normativa de resistência à tração e compressão, tornando-se uma opção viável. Em calçadas, Costa (2011) constatou a viabilidade do lodo como agregado e atestou que a resistência à compressão apresentou resultados satisfatórios.

CONCLUSÕES

A partir desse estudo foi possível verificar que a ETA de Maringá-PR possui uma alta geração de lodo, o qual necessita ser tratado e disposto adequadamente, visto que sua disposição em corpos hídricos pode ocasionar um conjunto de impactos ambientais, econômicos e sociais.

Com base na estimativa de lodo gerado, é possível que a empresa responsável pela ETA dimensione um sistema de tratamento para o mesmo, possibilitando a sua redução de volume, bem como a sua doação para fábricas de cerâmica e de material intertravado, localizadas na região metropolitana de Maringá, resultando em benefício econômico e ambiental para ambas as empresas. Conquanto, é necessário ressaltar que o lodo não deve substituir a matéria prima principal do ciclo de produção, seu uso deve ser feito como um complemento, em quantidades que não prejudiquem as características estruturais e funcionais dos materiais.

Assim, é possível que, a partir dos resultados obtidos, ações de gerenciamento do lodo gerado sejam desenvolvidas pela empresa responsável. No entanto, o desenvolvimento de um projeto destes envolve a disponibilidade de verba pública, o que pode dificultar a efetivação da proposta.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, em especial aos operadores da estação, por disponibilizarem os dados para estimar a geração de lodo na ETA de Maringá e sanar dúvidas ao decorrer da elaboração do estudo. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) por financiarem o desenvolvimento desta pesquisa.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmad, T. *et al.* **Sustainable management of water treatment sludge through 3BR concept.** Journal of Cleaner Production, v.124, p. 1–13, 2016.
2. Babatunde, A. O.; Zhao, Y. Q. **Constructive approaches toward water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses.** Critical Review in Environmental Science and Technology, v. 37, p. 129–165, 2007.
3. Brasil. **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. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: 24. Jul.2018.
4. Callister Junior, W. D. **Ciência e engenharia de materiais.** 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
5. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **População estimada para o ano de 2018.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
6. Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Indicadores de Qualidade das Águas.** São Paulo: CETESB, 1987.
7. Kawamura, S. **Integrated design of water treatment facilities.** S.L:Wiley, 1991.
8. HUANG, C. H.; WANG, S. Y. Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate. Construction and Building Materials, 2013.
9. Maran, M.A.; Pozzobon, J.C.; Lucas, J.F.R.; Díaz Mora, N. **Avaliação de leitos de secagem de lodo artesanais para a utilização em cerâmica artística.** Anais do Congresso Brasileiro de Cerâmica, 54., 2010, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu: ABC, 2010.
10. Margem, J. I. **Caracterização e Incorporação de Lodo de Decantação de Estação de Tratamento de Água (E.T.A) em Cerâmica Vermelha.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.
11. MARTINS, E. F.; SALES, N. A. O.; SOUZA, C.A.. O Estado, o mercado editorial e o professor no processo de seleção dos livros didáticos. Estudos em Avaliação Educacional, v. 20(42), p. 11-26, 2009.
12. Reali, M. A. P; Patrizzi, L. J. Espessamento de Lodos De ETAs. In: REALI, M. A. P. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** Rio de Janeiro, PROSAB, 1999. p. 41-84.
13. Richter, C. **Água: métodos e tecnologias de tratamento.** São Paulo: Blucher, 2009.
14. Richter, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** São Paulo: Edgard Blücher, 2001.
15. Sabbag, M.G.; Morita D.M. **Incorporação de lodo de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos.** Anais do XX Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga: APESB, APRH, ABIS, 2002. p. 1-15.
16. Souza, M. R. **Estudo do Lodo Gerado na Estação de Tratamento de Água de Buíque-PE: Caracterização, Quantificação e Identificação de Oportunidades de Minimização dos Resíduos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009.
17. Teixeira, S. R; Souza, S. A; Souza, N. R; Aléssio, P.; Santos, G. T. A. **Efeito da Adição de Lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) nas Propriedades de Material Cerâmica Estrutural.** Cerâmica, v. 52, p 215-220, 2006.
18. Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N. **Incorporation of solid waste in red ceramics – an updated review.** Revista Matéria, v.14, n. 3, p.881-905, 2009..