

Área: Sustentabilidade | Tema: Educação e Sustentabilidade

## INFLUÊNCIA DA OZONIZAÇÃO EM LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

### INFLUENCE OF OZONIZATION ON WATER TREATMENT STATION SLUDGE

Keila Fernanda Soares Hedlund, Manoel Maraschin e Elvis Carissimi

#### RESUMO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) desempenham papel primordial para atingir os padrões de potabilidade, desenvolvendo a função de indústrias produtoras de água. Mas as ETA também produzem resíduos, resultantes do processo de potabilização. O que ocasiona a geração de uma quantidade elevada de lodo, os quais devem ser tratados e dispostos sem ocasionar danos ao meio ambiente. Em busca de novas alternativas que otimizem o tratamento de lodos, o ozônio apresenta capacidade de oxidar uma série de compostos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi apresentar a influência do ozônio em lodos de ETA sob a qualidade da água clarificada, sólidos totais e carbono total (C) do lodo. As amostras de lodo foram submetidas ao borbulhamento de ozônio (O<sub>3</sub>), por diferentes tempos de controle. Após a ozonização, foi verificado que não houve alterações sobre a concentração de sólidos do lodo, mas houve redução da turbidez da água clarificada e do teor de carbono total do lodo.

**Palavras-Chave:** Tratamento; Lodo; Ozônio

#### ABSTRACT

The Water Treatment Plants (WTPs) play a key role in achieving potability standards, developing the role of water producing industries. But WTPs also produces waste resulting from the potabilization process. This causes the generation of a large amount of sludge, which must be treated and disposed of without causing damage to the environment. In search of new alternatives that optimize sludge treatment, ozone is capable of oxidizing a series of compounds. Thus, the objective of the present work was to present the influence of ozone in WTPs sludge on the clarified water quality, total solids and total carbon (C) of the sludge. The sludge samples were subjected to ozone bubbling (O<sub>3</sub>) for different control times. After ozonation, it was found that there were no changes on the sludge solids concentration, but there was a reduction in clarified water turbidity and total sludge carbon content.

**Keywords:** Treatment; Sludge; Ozone

# INFLUÊNCIA DA OZONIZAÇÃO EM LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

## 1 INTRODUÇÃO

No abastecimento público de água por meio de mananciais superficiais, as Estações de Tratamento de Água (ETA) desempenham papel primordial para atingir os padrões de potabilidade, desenvolvendo a função de indústrias produtoras de água. Segundo a Portaria de Consolidação nº 5, Anexo XX (BRASIL, 2017) toda a água destinada para o consumo deve obedecer aos parâmetros de potabilidade, ou seja, os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Assim, o tratamento da água bruta visa à remoção de patógenos, de matéria orgânica e substâncias tóxicas, mantendo a qualidade estética e protegendo a rede de distribuição contra corrosão e contaminação (LIBÂNIO, 2010; BONTON et al., 2012).

Nas estações de tratamento de água do Brasil ocorre a predominância do tratamento convencional (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; ACHON, BARROSO e CORDEIRO, 2013), composto pelos processos de: coagulação; floculação; decantação; filtração; e desinfecção, podendo existir algumas variações entre as estações, como a substituição da etapa de sedimentação pela flotação, ou o tipo de filtração utilizada.

Mas como qualquer indústria, as ETA também produzem resíduos, resultantes do processo de potabilização. O que acarreta a geração de uma quantidade elevada de lodo, como subproduto do processo. A partir do tratamento da água vários milhões de toneladas de lodo são produzidas anualmente (PETRUZZELLI et al., 2000). As propriedades dos lodos dependem tipicamente da qualidade da água bruta, método de tratamento aplicado, dosagem e produtos químicos utilizados (KYNCL, 2008; VERRELLI, DIXON e SCALES, 2010; KEELEY, JARVIS e JUDD, 2014; TANTAWY, 2015; AHMAD, AHMAD e ALAM, 2016). Ou seja, dependem primordialmente das características dos corpos d'água e dos insumos utilizados no tratamento.

As etapas mais representativas na produção de lodos são a sedimentação (ou flotação) e a filtração em operações de retro-lavagem (REALI, 1999; RICHTER, 2001). Mesmo apresentado elevado conteúdo de água (NELLENSCHULTE e KAYSER, 1997; CORDEIRO, 1999; RAYNAUD et al., 2012; WANG e LI, 2015), os lodos de ETA são classificados como resíduos sólidos, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004). Deste modo, devem estar consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), devendo ser tratados e dispostos sem ocasionar danos ao meio ambiente, não sendo permitindo seu lançamento *in natura* em corpos d'água.

Tradicionalmente as ETAs sempre deram pouca atenção ao tratamento dos resíduos gerados (ZHAO, 2004), mesmo com maiores exigências legais. Todavia, a execução de técnicas de tratamento e destinação do lodo pode mudar o quadro do descarte indevido. No Brasil ainda há carência de estudos sobre o tratamento de lodos de ETA, deste modo soluções adequadas para a sua gestão dificilmente são realizadas (ACHON, BARROSO e CORDEIRO, 2013). O tratamento dos lodos visa a redução de umidade e a destinação adequada do material sólido, diminuindo impactos ambientais. Seu tratamento é uma tarefa árdua, sendo sua gestão considerada um dos desafios da área do saneamento para o século XXI (ACHON, BARROSO e CORDEIRO, 2013). Hedlund (2016) e Maraschin (2018) estudaram a otimização da floculação e adensamento, demonstrando que cada vez mais buscase por tecnologias que possam auxiliar e melhorar o tratamento de lodos de ETA.

Em busca de novas alternativas que otimizem o tratamento de lodos, o ozônio apresenta capacidade de oxidar uma série de compostos inorgânicos e orgânicos (MAHMOUD e FREIRE, 2007; BROSEUS et al., 2009; GONÇALVES e KECHINSKI, 2011), sendo capaz de promover benefícios para o tratamento de lodos de ETA, como

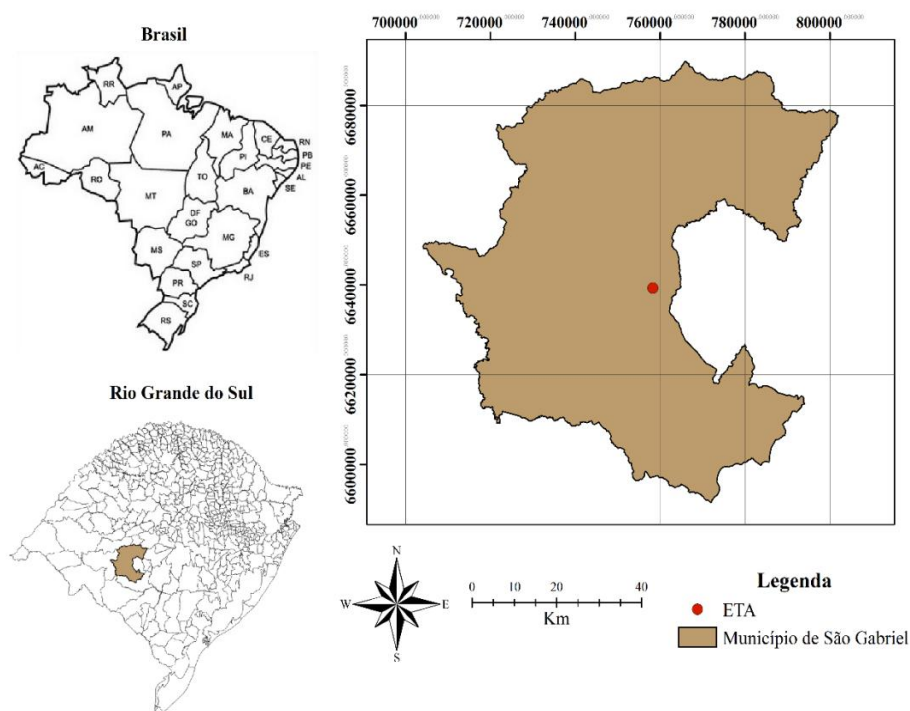
mineralização da matéria orgânica e melhoria na água clarificada. A ozonização de lodos de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é uma técnica promissora e cada vez mais vem ganhando espaço (WEI et al., 2003; SEMBLANTE et al., 2017), mas para lodos de ETA ainda não foram encontrados relatos de sua utilização e influência sobre o processo de tratamento. Desde modo, o objetivo do presente trabalho foi apresentar a influência do ozônio em lodos de ETA sob a qualidade da água clarificada, sólidos totais e carbono total (C) do lodo da ETA de São Gabriel.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 LOCAL DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO

O lodo utilizado nos ensaios de ozonização foi coletado no tanque de equalização da Estação de Tratamento de Água de São Gabriel (Rio Grande do Sul), após a higienização dos decantadores. A ETA atende em torno de 60 mil habitantes, representando aproximadamente 97% da população urbana da cidade. A localização da área da ETA de São Gabriel pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Localização da Estação de Tratamento de Água de São Gabriel.



Fonte: autores.

Quanto à caracterização do lodo da ETA de São Gabriel, em estudo realizado por Hedlund (2016), na classificação segundo a NBR 10.004/04 (ABNT, 2004) o lodo bruto apresentou como resultado dos parâmetros: cor marrom; estado físico sólido; umidade de 16,3%; ausente de líquidos livres; ausente de inflamabilidade; pH 1:1 de  $6,00 \pm 0,018$  UpH; óleos e graxas  $< 0,100$  %; sulfetos  $< 1,0$  mg/kg; cianetos  $< 1,0$  mg/kg. Os resultados dos parâmetros analisados nos extratos lixiviados e solubilizados do lodo da ETA são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1–Resultados dos parâmetros analisados, nos extratos lixiviados e solubilizados e valores especificados na NBR 10.004 de 2004 (ABNT 2004).

| Parâmetros Analisados                    | Unidade            | Valores Encontrados   | Especificação NBR 10.004 (2004) Anexo F |
|--|--------------------|-----------------------|---|
| <b>Extrato Lixiviado</b>                 |                    |                       |   |
| Arsênio (As)                             | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 1,00                                    |
| Bário (Ba)                               | mg.L <sup>-1</sup> | 1,41 ± 0,023          | 70                                      |
| Cádmio (Cd)                              | mg.L <sup>-1</sup> | <0,001                | 0,500                                   |
| Chumbo (Pb)                              | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 1,00                                    |
| Cromo Total (Cr)                         | mg.L <sup>-1</sup> | <0,025                | 5,00                                    |
| Fluoreto (F)                             | mg.L <sup>-1</sup> | 1,39 ± 0,075          | 150,00                                  |
| Mercúrio (Hg)                            | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 0,100                                   |
| Prata (Ag)                               | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 5,00                                    |
| Selênio (Se)                             | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 1,00                                    |
| <b>Extrato Solubilizado</b>              |                    |                       |   |
| Alumínio (Al)                            | mg.L <sup>-1</sup> | <b>0,313 ± 0,0054</b> | 0,2000                                  |
| Arsênio (As)                             | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 0,010                                   |
| Bário (Ba)                               | mg.L <sup>-1</sup> | 0,245 ± 0,0039        | 0,700                                   |
| Cádmio (Cd)                              | mg.L <sup>-1</sup> | <0,001                | 0,005                                   |
| Chumbo (Pb)                              | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 0,010                                   |
| Cianeto                                  | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 0,070                                   |
| Cloreto                                  | mg.L <sup>-1</sup> | 40,43 ± 0,97          | 250,00                                  |
| Cobre (Cu)                               | mg.L <sup>-1</sup> | 0,025 ± 0,0027        | 2,000                                   |
| Cromo (Cr)                               | mg.L <sup>-1</sup> | <0,025                | 0,050                                   |
| Ferro (Fe)                               | mg.L <sup>-1</sup> | <b>0,527 ± 0,0058</b> | 0,300                                   |
| Fluoreto (F)                             | mg.L <sup>-1</sup> | 1,39 ± 0,075          | 1,500                                   |
| Manganês (Mn)                            | mg.L <sup>-1</sup> | <b>2,88 ± 0,0025</b>  | 0,100                                   |
| Mercúrio (Hg)                            | mg.L <sup>-1</sup> | <0,0001               | 0,001                                   |
| Nitrato                                  | mg.L <sup>-1</sup> | <1,00                 | 10,00                                   |
| Prata (Ag)                               | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 0,050                                   |
| Selênio (Se)                             | mg.L <sup>-1</sup> | <0,005                | 0,010                                   |
| Sódio (Na)                               | mg.L <sup>-1</sup> | 2,99 ± 0,047          | 200,0                                   |
| Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) | mg.L <sup>-1</sup> | <10,0                 | 250,0                                   |
| Surfactantes                             | mg.L <sup>-1</sup> | <0,100                | 0,500                                   |
| Zinco (Zn)                               | mg.L <sup>-1</sup> | <0,025                | 5,000                                   |
| Fenóis Totais                            | mg.L <sup>-1</sup> | <0,00002              | 0,010                                   |

Fonte: HEDLUND (2016).

Os extratos lixiviados do lodo da ETA de São Gabriel apresentaram concentrações adequadas às indicadas na NBR 10.004 (ABNT, 2004), nenhum dos parâmetros ultrapassou as compenetrações indicadas pela norma. Para o extrato solubilizado as concentrações de alumínio, ferro e manganês apresentaram concentrações acima do limite apresentados na NBR 10.004 (ABNT, 2004). Assim, o lodo da ETA de São Gabriel foi classificado como resíduo Classe II A – Não perigoso e não inerte.

## 2.2 ENSAIOS DE OZONIZAÇÃO

As amostras de lodo foram submetidas ao borbulhamento de ozônio (O<sub>3</sub>) gerado por equipamento da marca Enaly®, modelo ZO-30N OZONE GENERATOR (Figura 2), por diferentes tempos de controle. O equipamento já foi utilizado por Silva (2013) para a oxidação de Fe<sup>2+</sup> a Fe<sup>3+</sup> da amostra em estudo. De acordo com as especificações do fabricante o gerador de ozônio ZO-30N (ENALY, 2017) apresenta produção máxima de ozônio de 200

mg/hora. Mas através de calibração realizada em laboratório a produção de ozônio foi de aproximadamente 90 mg/hora.

Figura 2 – Ozonizador Enaly®, modelo ZO-30N OZONE GENERATOR.



Fonte: ENALY, 2017.

Para a produção de ozônio, o gerador ZO-30N realiza a sucção do ar atmosférico, que passa por um filtro de sílica e posteriormente o ar é conduzido para um sistema de geração do ozônio. O filtro de sílica tem o intuito de secar o ar, aumentando a produção de ozônio, assim como diminuir a geração de gases secundários e diminuir a umidade no tubo o que pode conduzir a falhas elétricas. A outra extremidade do equipamento apresenta a saída de O<sub>3</sub>, na qual é conectada uma mangueira com uma pedra porosa, a qual foi introduzida em uma proveta onde o lodo recebeu a injeção de ozônio.

O lodo bruto utilizado nos ensaios teve teor inicial de sólidos de 0,5; 1 e 2%. Para o primeiro ensaio, uma amostra de lodo de 50 mL foi ozonizada durante 0, 1 e 2 horas, para cada concentração de sólidos. Posterior a ozonização, foi determinado o teor de sólidos do lodo. As amostras também foram submetidas à sedimentação e posteriormente determinada a turbidez da água clarificada.

Na segunda etapa do experimento, uma alíquota de lodo de 200 mL com teor de sólidos em torno de 2% foi ozonizada durante 9 horas, sendo determinado o teor de carbono total do lodo antes e após a ozonização do lodo.

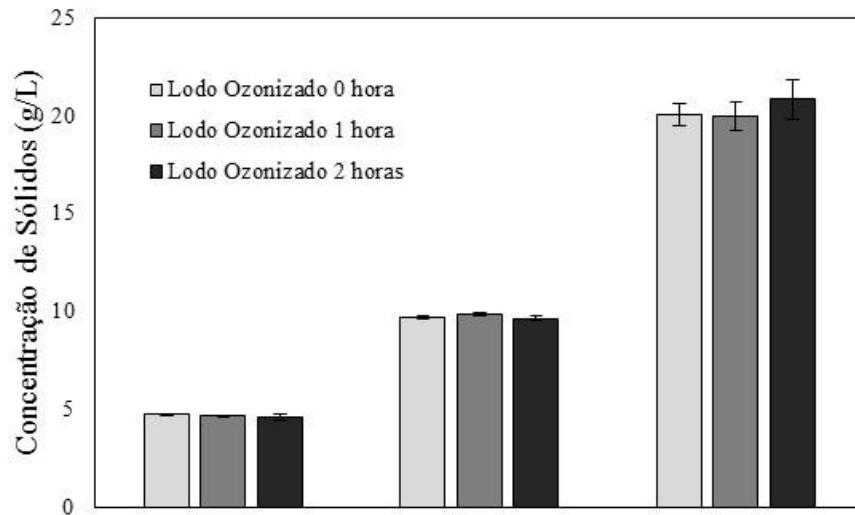
A determinação dos sólidos totais (ST) do lodo e turbidez da água clarificada seguiram os procedimentos descritos por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2012). O teor de carbono total (C) do lodo foi determinado em autoanalisador CHNS (modelo FlashEA 1112, ThermoFinnigan, Milan, Itália), posterior secagem em estufa laboratorial a 60 °C.

### 3 RESULTADOS

A influência da ozonização sobre a concentração de sólidos é apresentada na Figura 3. Pode-se observar que não houve alterações expressivas em relação ao lodo bruto (0 hora de ozonização) para as amostras que foram ozonizadas por 1 e 2 horas. Quando houve aumento

ou diminuição da concentração de sólidos após a injeção de ozônio a média dos valores obtidos permaneceu dentro da margem de erro do desvio padrão.

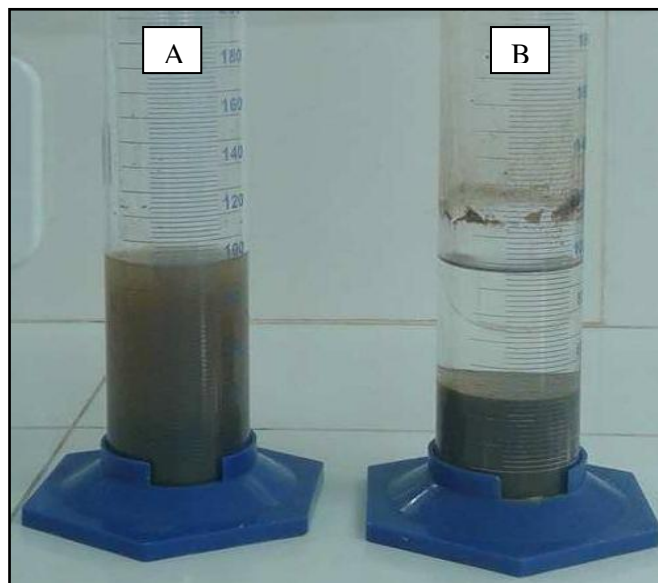
Figura 3 - Concentração de sólidos do lodo de ETA após a ozonização de 0, 1 e 2 horas. Condição inicial ST de 0,5; 1 e 2%.



Fonte: autores.

Como relação à turbidez, a aparência visual do lodo após a sedimentação entre as amostras de lodo bruto e ozonizado pode ser observada na Figura 4. Visualmente é nítido que houve diminuição da turbidez da água clarificada, com influência positiva do ozônio.

Figura 4 – Aparecia visual após a sedimentação do lodo bruto (A) e do lodo ozonizado (B).

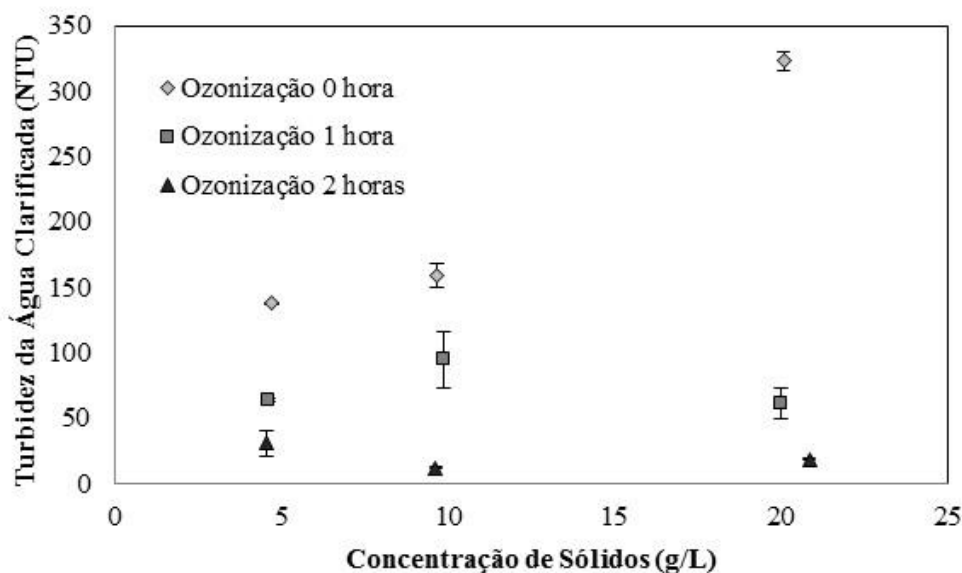


Fonte: autores.

Na Figura 5 são apresentadas as leituras da turbidez da água clarificada para os diferentes tempos de ozonização e concentração de sólidos da amostra, quanto maior a injeção

de ozônio no lodo, menor a turbidez remanescente. Também pode-se observar que quanto maior o teor de sólidos no lodo, maior a turbidez das amostras que não receberam injeção de ozônio.

Figura 5 – Turbidez da água clarificada do lodo de ETA após a ozonização de 0, 1 e 2 horas. Condição inicial ST de 0,5; 1 e 2%.



Fonte: autores.

A turbidez e os percentuais de redução da turbidez remanescente em relação a amostra que não foi ozonizada (0 horas) e as ozonizadas pelo período de 1 e 2 horas são apresentados na Tabela 2. Pode-se observar que os maiores percentuais de clarificação (93 e 94%) foram para as amostras ozonizadas durante 2 horas, para lodos com teor de sólidos de 1 e 2%.

Tabela 2 - Turbidez da água clarificada anterior e após a ozonização do lodo, com porcentagem de redução em relação a amostra não ozonizada.

| Condição Inicial ST (%) | Turbidez (NTU) após 0 horas de ozonização | Turbidez (NTU) após 1 horas de ozonização | % Redução Turbidez | Turbidez (NTU) após 2 horas de ozonização | % Redução Turbidez |
|-------------------------|---|---|--------------------|---|--------------------|
| 0,5                     | 137,5±0,5                                 | 63,8±0,7                                  | 54                 | 30,9±9,9                                  | 77                 |
| 1                       | 159±9                                     | 94,7±21,3                                 | 40                 | 11,7±0,6                                  | 93                 |
| 2                       | 323±7                                     | 60,8±12                                   | 81                 | 18,6±0,8                                  | 94                 |

Fonte: autores.

O lodo ozonizado na segunda etapa do experimento apresentou redução do teor de carbono de aproximadamente 10% (Tabela 3), resultante da mineralização de compostos orgânicos através da ação do ozônio. O que indica uma diminuição significativa do volume de lodo.

Tabela 2 - Teores de carbono total e porcentagem de redução, para lodo bruto e ozonizado.

| Amostra   | % C  | g de C | % Redução |
|-----------|------|--------|-----------|
| Bruto     | 8,05 | 1,74   | 10,3      |
| Ozonizado | 7,21 | 1,56   |           |

Fonte: autores.

Corroborando com os resultados obtidos no presente estudo, a ozonização de lodos de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) também propiciou a mineralização da matéria orgânica em relatos de diversos autores (PARK et al., 2002; MAHMOUD e FREIRE, 2007; PARK et al., 2008; FALL et al., 2018). A redução da massa de lodo pela ozonização ocorre com a decomposição da matéria orgânica em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água, promovendo à mineralização (PARK et al., 2008; FALL et al., 2018).

#### 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou a influência do ozônio sob o lodo de ETA. Após a ozonização, foi verificado que não houve alterações sobre a concentração de sólidos do lodo, mas houve redução da turbidez da água clarificada e do teor de carbono total do lodo, com mineralização da matéria orgânica. Os resultados obtidos fornecem subsídios importantes da influência do ozônio nas características dos lodos de ETA, mas se faz necessário que os estudos sejam aprofundados para compreender com clareza a dinâmica e os benefícios do ozônio para o tratamento de lodos de ETA.

#### Agradecimentos

Os autores agradecer à São Gabriel Saneamento pelas amostras de lodo da ETA e à CAPES pela bolsa de doutorado.

#### REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação**. 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.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. **Procedia Environmental Sciences**. v. 35, p. 950-955, 2016.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed., Washington: APHA-AWWA-WEF, 2012.733p.

BONTON, A.; BOUCHARD, C.; BARBEAU, B.; JEDRZEJAK, S. Comparative life cycle assessment of water treatment plants. **Desalination**. v.284, p.42-54, 2012.



BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Dispõe sobre a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 de setembro de 2017.

BROSÉUS, R.; VINCENT, S.; ABOULFADL, K.; DANESHVAR, A.; SAUVÉ, S.; BARBEAU, B.; PRÉVOST, M. Ozone oxidation of pharmaceuticals, endocrine disruptors and pesticides during drinking water treatment. **WaterResearch**. v.43, p.4707-4717, 2009.

CORDEIRO, J. S. **Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos 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, 1999. 240p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DI B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v. I e II. São Paulo: Rima, 2005. 1565p.

ENALY. **Manual ZO-30N Ozone Generator**. Shanghai ENALY M&E Ltd. 06 p. Disponível em: <<http://www.enaly.com>>. Acesso em: 02 de maio de 2017.

FALL, C; SILVA-HERNÁNDEZ, B. C.; HOOIJMANS, C. M.; LOPEZ-VAZQUEZ, C. M.; ESPARZA-SOTO, M.; LUCERO-CHÁVEZ, M; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Sludge reduction by ozone: Insights and modeling of the dose response effects. **Journal of Environmental Management**. v. 206, p. 103 – 112, 2018.

GONÇALVES, A.A.; KECHINSKI, C.P. **Ozone Technology in the Food Industry**. In: SIEGLER, B. C. Food Engineering. New York. Ed: Nova Science Pub, 2011, cap. 2, p.85-146.

HEDLUND, K. F. S. **Adensamento de lodo de estação de tratamento de água: comparação entre sedimentação e flotação**. 2016. 152 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

KEELEY, J.; JARVIS P.; JUDD, S.J. Coagulant Recovery from Water Treatment Residuals: A Review of Applicable Technologies. **Environmental Science and Technology**. v.44, n.24, p.2675-2719, 2014.

KYNCL, M. Opportunities for water treatment sludge re-use. **GeoScience Engineering**. v.54, n.1, p.11-22, 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. São Paulo, Campinas: Átomo, 2010. 494p.

MAHMOUD, A.; FREIRE, R.S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. **Química Nova**. v.30, n.1, p.198-205, 2007.

MARASCHIN, M. **Agregação helicoidal e adensamento por filtração do lodo de uma estação de tratamento de água**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

NELLENSCHULTE, T., KAYSER, R. Change of particle structure of sewage sludges during mechanical and biological processes with regard to the dewatering result. **Water Science & Technology**. v.36, n.4, p.293-306, 1997.

PARK, K. Y.; MAENG, S. K.; SONG, K. G.; AHN, K. H. Ozone treatment of wastewater sludge for reduction and stabilization. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**. v. 43, p. 1546–1550, 2008.

PARK, K. Y.; AHN, K-H.; MAENG, S. K.; HWANG, J. H.; KWON, J. H. Feasibility of Sludge Ozonation for Stabilization and Conditioning. **Ozone: Science & Engineering**. v. 25, n. 1, 73-80, 2002.

PETRUZELLI, D.; VOLPE, A.; LIMONI, N.; PASSIVO, R. Coagulants removal and recovery from water clarifier sludge. **Water Research**. v.34, p.2177–2182, 2000.

RAYNAUD, M.; VAXELAIRE, J.; OLIVIER, J.; DIEUDÉ-FAUVEL, E.; BAUDEZ, J.C. Compression dewatering of municipal activated sludge: Effects of salt and pH. **Water Research**. v.46, p.4448 - 4456, 2012.

SEMBLANTE, G.U.; HAI, F.I.; DIONYSIOU, D.D.; FUKUSHI, K.; PRICE, W.E.; NGHIEM, L.D. Holistic sludge management through ozonation: A critical review. **Journal of Environmental Management**. v.185, p.79-95, 2017.

SILVA, R. G. da **Produção do coagulante cloreto férrico a partir de carepa da indústria siderúrgica**. 81 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

TANTAWY, A.M. Characterization and pozzolanic properties of calcined alum sludge. **Materials Research Bulletin**. v.61, p.415-42, 2015.

VERRELLI, D.I.; DIXON, D.R.; SCALES, P.J. Assessing dewatering performance of drinking water treatment sludges. **Water Research**. v.44, p.152-1552, 2010.

WANG, L.; LI, A. Hydrothermal treatment coupled with mechanical expression at increased temperature for excess sludge dewatering: The dewatering performance and the characteristics of products. **Water Research**. v.68, p.291-303, 2015.

WEI, Y.S.; VAN HOUTEN, R.T.; BORGER, A.R.; EIKELBOOM, D.H.; FAN, Y.B.  
Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. **Water Research**. v.37, n.18, p.4453-4467, 2003.

ZHAO, Y. Q. Settling behaviour of polymer flocculated water-treatment sludge I: analyses of settling curves. **Separation and Purification Technology**. v. 35, p. 71-80, 2004.