

EFEITOS FÍSICO-QUÍMICOS DA APLICAÇÃO DE OZÔNIO EM ÁGUA POTÁVEL

Fabrizia Henriques Bonates¹, Rodrigo Pessoa¹

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo – A qualidade da água deve ser monitorada sobretudo nas atividades de campanha, tanto por seu importante papel de subsistência, quanto pela sua possibilidade de contaminação de forma intencional ou espontânea. Os parâmetros físico-químicos podem auxiliar na comprovação da potabilidade da água, de forma rápida e eficiente, após a sua desinfecção pelo ozônio. O presente estudo avaliou os parâmetros de condutividade elétrica, o pH, o potencial de oxirredução (ORP) e os sólidos totais dissolvidos em água (TDS) em água potável, antes e após a aplicação de ozônio em diferentes concentrações, demonstrando mudanças no perfil físico-químico da água que evidenciam a ação desinfetante do ozônio e sugerem que esse tipo de avaliação pode ser utilizada com a finalidade de obter um monitoramento simples, em tempo real, para verificar a acurácia do tratamento realizado.

Palavras-Chave – qualidade da água, tratamento da água, ozônio.

I. INTRODUÇÃO

Uma das primeiras necessidades durante a mobilização das Forças Armadas em caso de calamidade pública é a verificação da disponibilidade e qualidade da água no local [1]. Para as atividades militares, a água, além de fonte de subsistência e manutenção da higiene da tropa e das atividades diárias, representa também um possível meio de contaminação intencional de toda uma população e, portanto, é um bem que deve ser constantemente monitorado.

A disponibilidade de água para consumo humano é crítica em todo o mundo. De acordo com dados do Ministério da Saúde [2], aproximadamente 17% da população do Brasil não dispõe de acesso a nenhum tipo de abastecimento de água potável e que no mínimo 7 milhões de brasileiros consomem água sem o tratamento mínimo apontado como necessário para obtenção do padrão de potabilidade.

Atualmente, o método convencional para o tratamento de água no Brasil consiste em diversas etapas que utilizam a adição de cloro, insumo capaz de produzir vários subprodutos de desinfecção, tais como trihalometanos (THMs), ácidos haloacéticos (HAAs) e acetonitrilas halogenadas (HANs), que são compostos que prejudicam a qualidade da água, além de ter comprovado potencial cancerígeno [3].

O ozônio (O_3) é uma substância utilizada mundialmente no tratamento de água desde o século XIX e, no Brasil, existe a previsão legal de sua utilização para a desinfecção de água. O O_3 possui ação bactericida, virucida e fungicida e age como oxidante da matéria orgânica presente na água. [4]

A análise da qualidade da água envolve a medida de muitos parâmetros, que incluem a condutividade elétrica, o pH, o

potencial de oxirredução (ORP) e sólidos totais dissolvidos em água (TDS) Cada um deles possui um intervalo aceitável, que varia de acordo com a destinação da água[2].

Este artigo apresenta, de forma preliminar, uma investigação físico-química de água potável tratada com ozônio durante um período de 30 min. O objetivo é discutir as mudanças ocasionadas e avaliar os efeitos físico-químicos da aplicação de ozônio em água potável.

II. EXPERIMENTAL

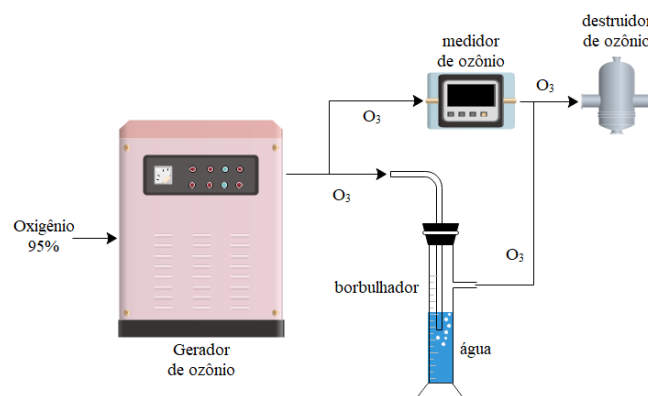


Fig. 1. Aparato experimental para tratamento da água filtrada com ozônio.

Foi utilizado um gerador “homemade” de ozônio, baseado em descarga de barreira dielétrica, com concentração máxima de 40 g/m^3 , para o tratamento da água filtrada (Fig. 1).

Para alimentar o gerador, foi utilizado oxigênio com pureza de aproximadamente 95% e fluxo de 2 L/min , produzido por um gerador de oxigênio medicinal. A concentração de O_3 foi variada de 15 a 30 g/m^3 e o ozônio foi aplicado por 30 minutos em cada amostra, visando verificar o efeito destas concentrações sobre os parâmetros físico-químicos da água.

O gerador foi acoplado a uma câmara de vidro, composta por um frasco lavador de gases de 250 ml do tipo Dreschel, com cilindro poroso, contendo 50 ml de água filtrada (Fig.2).

O gás de saída fluiu continuamente através do volume da câmara, sendo coletado em um orifício localizado na outra extremidade e levado para um filtro destruidor de ozônio (linha de Ozônio).

Para determinação dos parâmetros físico-químicos da água, foi utilizado um medidor multiparamétrico de água (marca ION, modelo MULT-007), que permitiu a realização de medidas de pH, potencial de oxirredução (ORP), condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos em água

(TDS). A temperatura da amostra também foi aferida durante as análises.

Como método complementar, as amostras de água controle e tratada foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis (marca Thermo Scientific, modelo Evolution 220), visando investigar a presença de modificações químicas na água, logo após seu tratamento. Para isto, 3 ml de água de cada amostra foram colocados em uma cubeta de quartzo e esta foi analisada em um range de comprimento de onda de 190nm a 900nm.



Fig. 2. Câmara de vidro utilizada para aplicação do ozônio na água.

III RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos foram analisados em relação à concentração de Ozônio aplicada em cada amostra.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químicos mensurados para água controle (água filtrada) e as águas tratadas em diferentes concentrações de ozônio por um período de 30 min.

TABELA I. MEDIDAS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA APÓS A APLICAÇÃO DE OZÔNIO, REALIZADA NAS CONCENTRAÇÕES DE 15 G/M³, 20 G/M³, 25 G/M³ E 30 G/M³ (DE ACORDO COM O MANUAL DO EQUIPAMENTO, TODOS OS PARÂMETROS MEDIDOS TÊM UM ERRO DE ± 2%).

Concentração de O ₃ (g/m ³)	pH	Temperatura (°C)	ORP (mV)	σ (mS/cm)	TDS (ppm/min)
Amostra Controle					
----	6.64	19	20	0.07	50
Amostras de Água Ozonizada					
15	7.51	19	-28	0.08	50
20	7.62	19	-32	0.08	50
25	7.66	19	-36	0.08	50
30	7.85	19	-44	0.09	60

A Figura 3 apresenta os valores de pH e ORP em função da concentração de ozônio variando no range de 15 a 30 g/m³ (ou ppm). É observada uma crescente elevação do pH da água tratada com ozônio em comparação com a água controle (pH = 6,64, vide Tabela 1) em até 18 % para a concentração de 30

g/m³. Valores de pH entre 6,0 e 9,5 para água potável estão de acordo com o estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde [4]. Os principais valores determinantes do pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade [5].

Alteração nos valores de pH também podem interferir no processo de coagulação e precipitação química durante o tratamento da água, no crescimento microbiano dos sistemas biológicos de tratamento e ainda podem causar irritação na pele e olhos, quando ocorrerem valores muito baixos ou muito altos[6].

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a medição dos valores de ORP pode ser utilizada como forma de monitoramento da eficácia do processo de desinfecção da água. Pode-se determinar valores mínimos, que devem ser analisados individualmente, necessários para garantir que água foi realmente desinfetada. A OMS não recomenda a utilização de valores universais, aplicáveis a todas as situações. [7].

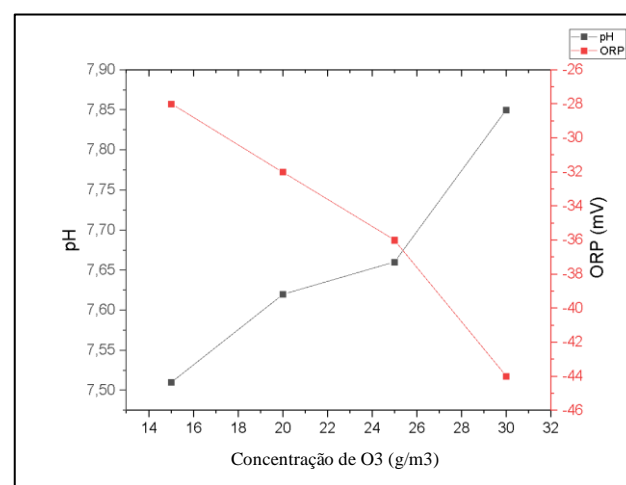


Fig. 3. pH e potencial de oxirredução (ORP) da água tratada em função da concentração de Ozônio

Algumas atividades de campanha das Forças Armadas, bem como as pequenas comunidades do interior do Brasil, utilizam a água de córregos e rios como fonte de consumo. As águas brutas destas fontes normalmente apresentam alta concentração de impurezas e matérias orgânicas e, por isto, torna-se muito importante a análise do ORP. Observa-se que o número de microrganismos presentes na água começa a diminuir é muito similar ao ponto no qual o ORP também inicia a decrescer [8], fato corroborado pelos resultados da Fig. 3.

Segundo Melnik et al [8] a medição do ORP de soluções é usada como forma de controle de processos que ocorrem na presença de agentes oxidantes e redutores. Existe uma relação entre a mudança no ORP durante o processo de ozonização e a mudança no aspecto químico e microbiológico que acontece na água. Esta relação parece ser importante como método de controle do processo de desinfecção da água por ozônio.

Ustaoglu e Tepe [9] citam uma relação estreita entre o ORP e o pH, destacando que o ORP é positivo quando o pH é ácido[9], fato corroborado pelos resultados demonstrados na Tabela 1.

A presença de valores alterados de pH ou ORP pode ser um indicativo de que a fonte utilizada pode estar contaminada por agentes poluentes e não deve ser utilizada [6].

Cano e Carrera [10] realizaram estudo no qual a presença de coliformes fecais e totais foi observada em valores de ORP de aproximadamente de 250mV, enquanto, para valores aproximados de 760mV observou-se ausência deles, sendo possível utilizar este parâmetro como forma de determinar a contaminação bacteriológica da água. Pule, Yahya e Chuma [11] também relatam que a água saudável normalmente tem valores muito altos de ORP.

Como a água utilizada neste estudo foi potável, na qual se supõe ausência deste tipo de contaminação, os resultados, em termos de valores, foram discrepantes.

Mais estudos sistemáticos acerca das mudanças vistas no ORP da água durante a ozonização devem ser realizados, para que seja possível realizar melhores análises sobre o tema, especialmente com a utilização de água contaminada.

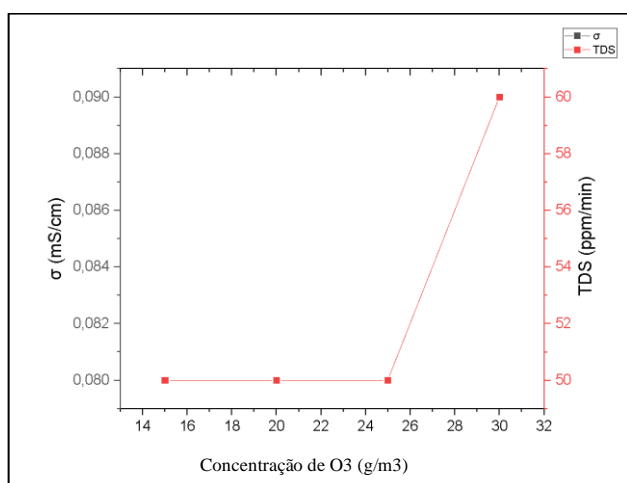


Fig. 4 . Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos na água tratada em função da concentração de Ozônio

A Fig. 4 apresenta os valores de condutividade elétrica e de TDS em função da concentração de ozônio variada no intervalo de 15 a 30 g/m³. A condutividade elétrica em água é uma maneira indireta de medir a concentração de poluentes e mudanças em seu nível indicam mudanças na composição da água. Valores de condutividade entre 0 e 2,5 mS/cm indicam que a água é boa para consumo humano [11].

Conforme os dados demonstrados na fig. 4, não se observou considerável variação da condutividade da água após o tratamento com ozônio.

A condutividade na água relaciona-se com o valores dos TDS [12], conforme verificado na Fig.4, quando ambos os valores apresentaram o mesmo padrão de comportamento, à medida em que foram sendo utilizadas maiores concentrações de O₃.

Em relação aos sólidos totais dissolvidos, pode-se verificar nos dados encontrados na Tabela I e Fig. 3, que apenas para a concentração de 30 g/m³ ocorreu um aumento de 20% com relação à amostra controle. Provavelmente, nesta concentração, novas reações químicas estão sendo inseridas na água, para formação de espécies reativas de nitrogênio e oxigênio (RONS). Contudo, a análise por espectrofotometria

não evidenciou uma modificação drástica para esta concentração (Fig. 5).

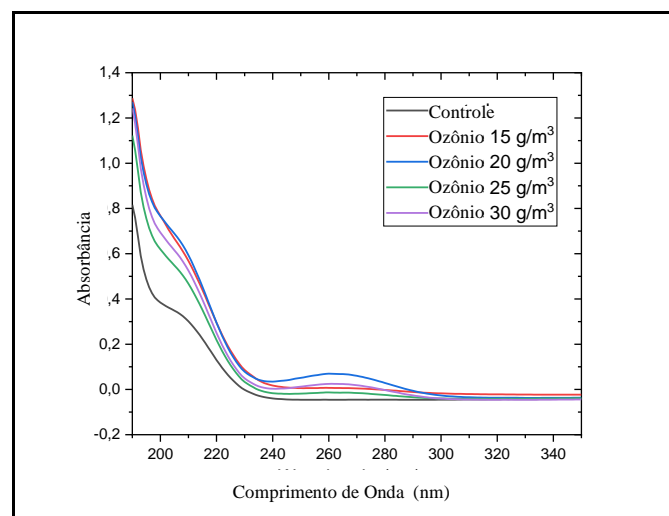


Fig. 5. Espectro UV-Vis da água controle e tratada em diferentes concentrações de ozônio

Na Fig. 5, podemos observar o espectro UV-visível da água controle e das águas tratadas em diferentes concentrações de O₃. Para os métodos de análise das composições de RONS em água, a espectroscopia de absorção de UV-vis foi proposta e verificada quanto à sua conveniência e utilidade na medição de espécies longevas em soluções aquosas, como H₂O₂, NO₂⁻, NO₃⁻ e O₃ [13].

Observou-se que, na banda centrada, em aproximadamente 260 nm, há evidência da acomodação da molécula de O₃ na água tratada com ozônio (Fig. 5). Para bandas de menores comprimentos de onda, ocorre um aumento das bandas relativas às espécies NO₂⁻, NO₃⁻ e H₂O₂, fato que demonstra a formação de uma água contendo espécies RONS, corroborando com o resultado de ORP, que no caso da água tratada, ficou mais negativa. Outros estudos são necessários para se compreender a cinética de formação das espécies RONS na água tratada com ozônio, bem como quantificar as suas respectivas concentrações, para que se verifique a possibilidade de consumo imediato desta água tratada ou de sua estocagem com uso subsequente.

IV. CONCLUSÃO

Em situações de campanha ou outras nas quais seja necessário o monitoramento e controle da qualidade da água, de uma forma rápida e imediata, sem que haja prejuízo da eficiência, observou-se que a avaliação dos parâmetros físico-químicos da água, antes após a utilização de um método de desinfecção, pode ser suficiente para que seja verificada a sua potabilidade.

Com este estudo, foi possível verificar as mudanças ocasionadas e avaliar os efeitos físico-químicos da aplicação de ozônio em água potável.

Existe uma relação entre a mudança no ORP durante o processo de ozonização e a mudança no aspecto químico e

microbiológico que acontece na água. Esta relação parece ser importante como método de controle do processo de desinfecção da água por ozônio.

Maiores pesquisas acerca do tema devem ser desenvolvidas, sobretudo para a compreensão da formação das espécies RONS e para a avaliação do comportamento dos padrões de ORP, como forma de determinar a padronização desta técnica de monitoramento, em condições pré-determinadas, especialmente quanto ao uso de Ozônio como substância responsável pela desinfecção da água.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior das Forças Armadas. "Doutrina de Operações Conjuntas – MD30-M-01/Volumes 1 e 2". Brasília, DF, 2020.
- [2] BRASÍLIA. Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde. "Diagnóstico do abastecimento de água para consumo humano em 2019". 13. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. (Boletim Epidemiológico). Disponível em: <http://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- [3] M. A. Mazhar, N. A. Khan, S. Ahmed, A. H. Khan, A. Hussain, Rahisuddin, F. Changani, M. Yousefi, S. Ahmadi, V. Vambol. "Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review". *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 273, p. 123159, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123159>.
- [4] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 05. "Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde". Brasília, DF, 2017.
- [5] J. A. Corcória, A. Celligoi, "Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã-PR". *Revista de Estudos Ambientais*. Londrina, v. 14, n. 2, p. 39-48, jan. 2012. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/2926>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- [6] C. F. Birkheuer, J. de Araújo, C. Rempel, M. J. Maciel. "Qualidade físico-química e microbiológica da água de consumo humano e animal do Brasil: análise sistemática". *Revista Caderno Pedagógico*, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 134-145, 8 jun. 2017. Editora Univates. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1423>.
- [7] WORLD HEALTH ORGANIZATION. "Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum". Geneva: World Health Organization; 2017. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- [8] L. O. Melnik et al. "Change of the Oxidation-Reduction Potential of Model and Natural Waters in the Ozone Disinfection Process". *Journal of Water Chemistry and Technology*, v. 43, n. 1, p. 85-91, 2021.
- [9] F. Ustaoglu, Y. Tepe. "Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators". *International Soil and Water Conservation Research*, [s. l.], n. 7, p. 47-56, 2019. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ISWCR. Acesso em: 15/07/2021.
- [10] M. E. M. Cano, F. A. D. A. Carrera. "Calidad bacteriológica del agua y su relación con el potencial de óxido reducción (ORP)". *Agua, Saneamiento & Ambiente*, Guatemala, v. 15, n. 1, p. 37-43, 2020.
- [11] M. Pule, A. Yahya, J. Chuma. "Wireless sensor networks: a survey on monitoring water quality". *Journal Of Applied Research and Technology*, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 562-570, dez. 2017. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jart.2017.07.004>.
- [12] A. F. Rusydi. "Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: a review". *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S.L.], v. 118, p. 012019, fev. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>.
- [13] K. Tachibana, T. Nakamura. "Examination of UV-absorption spectroscopy for analysis of O₃, NO₂⁻, and HNO₂ compositions and kinetics in plasma-activated water". *Jpn. J. Appl. Phys.* 59 056004, 2020
- [14] A. Niveditha, R. Pandiselvam, V. A. Prasath, Sushil S.K. Singh, K. Gul, A. Kothakota. "Application of cold plasma and ozone technology for decontamination of Escherichia coli in foods - a review". *Food Control*, [S.L.], v. 130, p. 108338, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108338>.
- [15] Wen-Chi Lin et al. "Multifunctional water sensors for pH, ORP, and conductivity using only microfabricated platinum electrodes". *Sensors*, v. 17, n. 7, p. 1655, 2017.
- [16] M. C. Dodd, N. D. Vu, A. Ammann, V. C. Le, R. Kissner, H. V. Pham, T. H. Cao, M. Berg, U. Von Gunten. "Kinetics and Mechanistic Aspects of As (III) Oxidation by Aqueous Chlorine, Chloramines, and Ozone: relevance to drinking water treatment". *Environmental Science & Technology*, [S.L.], v. 40, n. 10, p. 3285-3292, maio 2006. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es0524999>.
- [17] D. Rambauske. "A importância do Hospital de Campanha para as forças militares". *EsSEX: Revista Científica*, 2(2), 78-83. 2019. <https://doi.org/10.46848/rcsessex.v2i2.2436>
- [18] UNICEF - United Nations Children's Fund, World Health Organization. "The Measurement and Monitoring of Water Supply, Sanitation and Hygiene (WASH) Affordability A Missing Element of Monitoring of Sustainable Development Goal (SDG) Targets 6.1 and 6.2: a collaboration of the who-unicef joint monitoring programme (jmp), the un-water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (glaas) and an expe". New York: World Health Organization, 2021.
- [19] M. Venturini, A. Rossen, and P. S. Paulo. "Nitrification Process in a Nuclear Wastewater with High Load of Nitrogen, Uranium and Organic Matter under ORP Controlled." *Water* 13.11 (2021): 1607.
- [20] M. Von Sperling. "Introdução à qualidade das águas e tratamento de esgotos". 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
- [21] W. Chiappim, A. G. Sampaio, F. Miranda, M. Fraga, G. Petraconi, Gilberto A. da Silva Sobrinho, K. Kostov, C. Koga-Ito P. Rodrigo. "Antimicrobial Effect of Plasma-Activated Tap Water on Staphylococcus aureus, Escherichia coli, and Candida albicans". *Water*, [S.L.], v. 13, n. 11, p. 1480, 25 maio 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w13111480>.
- [22] S. Sharma, A. Bhattacharya. "Drinking water contamination and treatment techniques". *Applied Water Science*, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 1043-1067, 16 ago. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-016-0455-7>.
- [23] J. F. King, A. Szczuka, Z. Zhang, W. A. Mitch. "Efficacy of ozone for removal of pesticides, metals and indicator virus from reverse osmosis concentrates generated during potable reuse of municipal wastewaters". *Water Research*, [S.L.], v. 176, p. 115744, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2020.115744>
- [24] L. J. Del Giacco, R. Drusiani, L. Lucentini, S. Murtas. "Water as a weapon in ancient times: considerations of technical and ethical aspects". *Water Supply*, [S.L.], v. 17, n. 5, p. 1490-1498, 31 mar. 2017. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2017.043>.
- [25] A. K. Biswas, C. Tortajada. "Water crisis and water wars: myths and realities". *International Journal Of Water Resources Development*, [S.L.], v. 35, n. 5, p. 727-731, 12 jul. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07900627.2019.1636502>.
- [26] Z. Honarmandrad, N. Javid, M. Malakootian. "Efficiency of ozonation process with calcium peroxide in removing heavy metals (Pb, Cu, Zn, Ni, Cd) from aqueous solutions". *SN Applied Sciences*, v. 2, n. 4, p. 1-7, 2020.