

Remoção de ferro em sistemas e subsistemas de distribuição de água potável em um estado do Nordeste, Brasil

Iron removal in drinking water distribution systems and subsystems in a Northeast state, Brazil

Gabriela Valones¹, Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa², Aline Valones³, Rosângela Gomes Tavares⁴, Valmir Cristiano Marques de Arruda⁴

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Pernambuco, Brasil.

² Instituto Federal de Pernambuco – IFPE, Pernambuco, Brasil.

³ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Química, Pernambuco, Brasil.

⁴ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Pernambuco, Brasil.

Todos autores contribuíram de forma igualitária

Palavras-Chave

abastecimento humano
tratamento de água
remoção de ferro
legislação ambiental

Key-word

human resources
water treatment
iron removal
environmental legislation

RESUMO

Nesta avaliação, foi verificada a remoção de ferro em sistemas e subsistemas de distribuição de água potável em um estado do Nordeste, Brasil através da concentração de ferro presente na água bruta e tratada para fins de abastecimento público. Tal estudo é relevante, pois o excesso de ferro acarreta problemas de caráter operacional e econômico devido a corrosão de tubulações que transportam a água; prejuízos quanto ao aspecto estético que acarreta rejeição para consumo por parte da população, pois em alta concentração o ferro confere à água coloração avermelhada. Os dados secundários utilizados na pesquisa apresentaram resultados do teor de ferro de amostras pontuais no período de 2009 e 2013 dos principais Sistemas de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Recife-PE, Brasil e sua conformidade com a Portaria de Consolidação Nº 5/2017 do Ministério da Saúde. Em 2009 e 2013, os sistemas Caixa d'Água e Gurjáú evidenciaram valores de concentração de ferro acima dos 0,3 mg L⁻¹ estabelecido como limite pela legislação vigente. Tais sistemas obtiveram eficiência de remoção inferior a 50% para o parâmetro ferro, nas amostras analisadas.

ABSTRACTS

In this evaluation, iron removal was verified in drinking water distribution systems in a state of Northeast Brazil, through the concentration of iron present in raw water and treated for public supply purposes. Such a study is relevant, because the excess of iron entails operational and economic problems due to the corrosion of pipes that transport the water; losses in the aesthetic aspect that entails rejection for consumption by the population, because in high concentration the iron gives the water a reddish coloration. The secondary data used in the research presented results of the iron content of timely samples in the period 2009 and 2013 of the main Water Supply Systems of the Metropolitan Region of Recife-PE, Brazil and their compliance with the Consolidation Ordinance No. 5/2017 of the Ministry of Health. In 2009 and 2013, the Caixa d'Água and Gurjáú systems showed values of iron concentration above 0.3 mg L⁻¹ established as a limit by current legislation. These systems obtained removal efficiency of less than 50% for the iron parameter in the analyzed samples.

Informações do artigo

Recebido: 07 setembro, 2018

Aceito: 05 dezembro, 2018

Publicado: 20 dezembro, 2018

Introdução

O ferro constitui 5,6% da crosta terrestre, sendo o quarto elemento mais abundante no planeta (KUMAR et al., 2017). Traços de metais, como manganês (Mn) e ferro (Fe), são poluentes inorgânicos detectados comumente nas águas de abastecimento (RAJAN et al., 2012; TEKERLEKOPOULOU, PAVLOU, VAYENAS, 2013; DU et al., 2017; NAMBATINGAR et al., 2017).

A análise de íons metálicos é um importante fator durante o monitoramento da qualidade da água superficial ou subterrânea (GUPTA et al., 2012).

A depender da concentração, o ferro pode acarretar problemas diversos para o abastecimento público de água como coloração amarelada/avermelhada e turva e/ou sabor amargo e adstringente à água; desenvolvimento de bactérias ferruginosas, que ao serem depositadas em canalizações, causam corrosão (SUN et al., 2017), obstruções e redução de vazão; manchas em roupas e aparelhos sanitários; e interferência em processos industriais (MORUZZI e REALI, 2012). Pela alteração, especialmente, das características estéticas da água, a presença de ferro pode levar o consumidor a buscar fontes hídricas alternativas e não seguras para o consumo humano (KUMAR et al., 2017).

A ocorrência de metais na água potável como o alumínio, o cálcio, o cádmio, o cromo, o cobre, o ferro, o chumbo, o magnésio, o manganês, o zinco, entre outros, se dá por causas geogênicas como o desprendimento de fontes naturais (RAJAN et al., 2012; RAZAK et al., 2015), ou provenientes de ações antropogênicas, como a descarga descontrolada de efluentes industriais de segmentos diferentes, ou ainda, pelo contato com resíduos de mineração, lixiviados de aterros e lixões que representam outros contribuintes da poluição de metais na água de abastecimento (KIOKO e OBIRI, 2012; SHARMA e TYAGI, 2013; BHOWMIK et al., 2015).

A legislação brasileira vigente através da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde estabelece 0,3 mg L⁻¹ como Valor Máximo Permitido – VMP para o teor de Fe na água potável. Mesma concentração de ferro é delimitada pela Organização Mundial de Saúde – OMS, 300 partes por bilhão – ppb. Concentrações maiores são tóxicas e danosas à saúde humana, podendo acarretar câncer de fígado, doenças relacionadas ao sistema nervoso central, infertilidade, insuficiência cardíaca, diabetes, cirrose e tumores hepáticos (CHO, 2005; CHATURVEDI e DAVE, 2012; KHAN et al., 2013; YUCE e ALPTEKIN, 2013; KUMAR et al., 2017).

Diversas técnicas de tratamento têm sido empregadas para melhorar a qualidade hídrica para o abastecimento humano potável removendo contaminantes inorgânicos e metálicos (DU et al., 2017; STIRIBA, Y.; GOURICH, B.; VIAL, 2017). Os processos usualmente empregados para sua remoção são baseados em mecanismos físico-químicos como a decapagem por ar-ar, filtração (DHADGE, et al., 2018), troca iônica, processos de membrana (DASHTBAN, SEYEDEH e BARBEAU, 2017), eletrocoagulação (HASHIM et al., 2017), oxidação química e adsorção, ou técnicas biológicas como a biofiltração, oxidação biológica (SHAKYA & GHOSH, 2018).

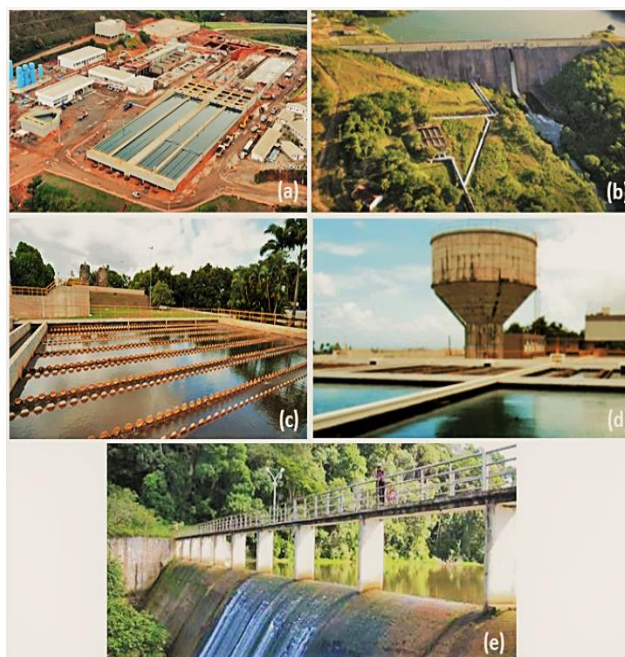
Com isso, este trabalho buscou avaliar a remoção de ferro em sistemas e subsistemas de distribuição de água potável em um estado do Nordeste, Brasil através de uma base de dados secundários referente à concentração de ferro presente na água bruta e tratada usada para o abastecimento humano.

Material e métodos

Localizados na Região Metropolitana de Recife, no estado de Pernambuco, região Nordeste do Brasil, os sistemas de abastecimento de água estudados foram Pirapama, Tapacurá, Botafogo, Alto do Céu e Gurjaú (Figura 1).

A seleção de tais sistemas refere-se a relevância destes para o suprimento hídrico no contexto estadual.

Figura 1 - Principais sistemas de abastecimento de água da RMR/PE: Pirapama (a), Tapacurá (b), Botafogo (c), Alto do Céu (d) e Gurjaú (e).



Fonte: Adaptado de Pernambuco (2011).

Também foram incorporados no estudo, os subsistemas Jangadinha e Caixa D'Água, por sua importância no abastecimento local (Figura 2).

Figura 2 - Principais subsistemas de abastecimento de água da RMR/PE: Jangadinha (a) e Caixa D'Água (b)



Fonte: Pernambuco (2011).

Os dados, de tipo secundário, são provenientes de coletas pontuais realizadas durante o período de janeiro a outubro de 2009 e 2013 pela Companhia Pernambucana de Saneamento – Compesa e fiscalizadas pela Agência Estadual de Regulação de Pernambuco – Arpe nos sistemas e subsistemas citados (Tabela 1).

As informações obtidas advêm dos relatórios de monitoramento das amostras de água bruta e tratada em pontos diversos, enviados pela concessionária à Arpe.

Tabela 1 – Número de coletas realizadas nos sistemas e subsistemas em 2009 e 2013.

SISTEMA/ SUBSISTEMA	Nº. DE COLETAS EM 2009 e 2013	
	ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA
ALTO DO CÉU	2	2
BOTAFOGO	6	6
CAIXA D'ÁGUA	2	2
GURJAÚ	2	2
JANGADINHA	2	2
TAPACURÁ	2	2
PIRAPAMA	2	2

Fonte: Adaptado de Arpe (2009); Compesa (2013).

Em Pirapama, maior sistema de abastecimento de água de Pernambuco e um dos maiores do Brasil (COMPESA, 2013), a coleta amostral foi realizada na Barragem do Pirapama no mês de setembro de 2013.

No acompanhamento do sistema Tapacurá, a amostragem foi feita na Barragem Duas Unas no mês de janeiro de 2009 e 2013. Enquanto que, no Sistema Botafogo, as coletas amostrais foram realizadas no mês de julho de 2013, no Rio Catucá, Arataca e Cumbe.

Na verificação do Sistema Alto do Céu, o monitoramento ocorreu em outubro de 2013 tendo sido analisado o ponto de amostragem do Rio Beberibe. Ao passo que, no Sistema Gurjaú, as análises ocorreram em 2009 e 2013.

Nos subsistemas Jangadinha e Caixa D'Água, as amostras foram coletadas em março de 2013 no Açude Jangadinha e no Poço Beberibe I, respectivamente.

Resultados e discussões

A investigação do período e intervalos entre as coletas pode indicar a defasagem na representatividade e frequência das captções de amostras realizadas pela Companhia de Saneamento (Tabela 1). Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, a instrução para periodicidade das coletas e captação de amostras é que ocorram a cada bimestre, para o monitoramento do parâmetro (Fe) em determinado sistema. O cumprimento desta recomendação não foi observado em nenhum dos sistemas e subsistemas de abastecimento avaliados para o ano de 2013, sendo constatada apenas uma amostra por ano para os pontos verificados.

A água para consumo humano dos sistemas Pirapama, Tapacurá, Botafogo e Alto do Céu atenderam à legislação vigente (CONAMA nº 357/2005 e Portaria de Consolidação nº 5/2017) que estabelece como VMP de concentração de Fe 0,3 mg L⁻¹ (Tabela 2).

No sistema Pirapama, o teor de Fe na água bruta foi de 1,080 mg L⁻¹ (Tabela 2). Índices elevados de Fe, em águas superficiais, podem estar relacionados a presença de matéria orgânica, fragmentos geológicos e/ou detritos de plantas, que se associados a colóides ou húmus, conferem cor amarelada/avermelhada à água (CPRM, 1997; SALEM et al., 2012; LI et al., 2016). Embora tenha sido observada alta dose do metal na água bruta, o excesso foi removido nas etapas de beneficiamento hídrico da Estação de Tratamento de Água – ETA, que evidenciou uma concentração de Fe na água tratada de 0,1 mg L⁻¹, inferior ao estabelecido na lei em vigor, com eficiência de 91% de remoção (Tabela 2).

Na ETA, a retirada do Fe da água ocorreu através da precipitação do metal que é removido por decantação dos flocos formados pela ação de produtos químicos coagulantes (CHATUVERDI e DAVE, 2012).

Tabela 2 - Remoção de ferro nos sistemas e subsistemas de abastecimento da RMR/PE.

SISTEMA	MANANCIAL	FERRO TOTAL (mg L ⁻¹)			
		2009	ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA	ER (%)
ALTO DO CÉU	RIO BEBERIBE	Out	1,380	0,170	88
BOTAFOGO	RIO CATUCÁ	Jul	N.I.	N.I.	-
	RIO ARATACA	Jul	N.I.	N.I.	-
	RIO CUMBE	Jul	N.I.	N.I.	-
CAIXA D'ÁGUA	POÇO BEBERIBE I	Out	0,570	0,490	14
GURJAÚ	BARRAGEM GURJAÚ	Mai	1,990	1,020	49
JANGADINHA	AÇUDE JANGADINHA	Mar	1,540	0,830	45
TAPACURÁ	BARRAGEM DUAS UNAS	Jan	0,140	0,050	54
PIRAPAMA	BARRAGEM PIRAPAMA	Set	0,740	0,200	73
SISTEMA	MANANCIAL	FERRO TOTAL (mg.L ⁻¹)			
		2013	ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA	ER (%)
ALTO DO CÉU	RIO BEBERIBE	Out	0,550	0,120	78
BOTAFOGO	RIO CATUCÁ	Jul	2,920	0,260	91
	RIO ARATACA	Jul	1,010	0,260	74
	RIO CUMBE	Jul	2,660	0,260	90
CAIXA D'ÁGUA	POÇO BEBERIBE I	Out	0,570	0,310	45
GURJAÚ	BARRAGEM GURJAÚ	Mai	2,850	1,610	44
JANGADINHA	AÇUDE JANGADINHA	Mar	0,810	0,260	68
TAPACURÁ	BARRAGEM DUAS UNAS	Jan	0,650	0,100	85
PIRAPAMA	BARRAGEM PIRAPAMA	Set	1,080	0,100	91

Fonte: Adaptado de Arpe (2009); Compesa (2013).

Legenda: ER - Eficiência de Remoção; N.I. - Não Informado.

Na água tratada do sistema Tapacurá, o parâmetro Fe ficou abaixo do limiar exigido por lei com concentração de 0,1 mg L⁻¹ e eficiência de remoção de Fe no sistema de 85% (Tabela 2). Tal situação foi similar no sistema Botafogo, que demonstrou a eficiência do tratamento na remoção do Fe de 91%, 74% e 90% para as amostras analisadas do Rio Catucá, Arataca e Cumbe, respectivamente (Tabela 2).

O Rio Catucá é o manancial dos sistemas da RMR/PE com maior teor de Fe na captação para abastecimento com concentração do metal de 2,9 mg L⁻¹ e que teve maior remoção de Fe no ano de 2013, o que demonstra o funcionamento adequado de tratamento da água de abastecimento público fornecida pelo sistema (Tabela 2).

Eficiência de remoção de Fe semelhante a obtida no sistema Botafogo foi alcançado por Chen e Zheng (2016) através de técnica de acoplamento com uso de pré-oxidação com dióxido de cloro (ClO_2) e filtragem de areia de Mn para remoção profunda de Mn e Fe, com taxa de 95% de retirada dos íons metálicos.

No sistema Alto do Céu, a eficiência do tratamento na remoção de Fe foi de 78%, com $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de concentração de Fe na água potável (Tabela 2). A maioria dos metais presentes nas fontes hídricas superficiais e subterrâneas é geralmente removida durante o processo de tratamento de água (FARIZWANA et al., 2010). Isso é corroborado pelos resultados obtidos que demonstram o tratamento eficiente e a qualidade da água que chega aos consumidores (no que se refere a presença de Fe), pois os problemas correlatos quando o metal está em excesso, envolvem questões estéticas como gosto, efeitos visuais (cor indesejável) e entupimento (o Fe na forma de seu hidróxido cria obstrução na tubulação) que podem levar a rejeição da água pela população abastecida (WHO, 2006; CHATURVEDI e DAVE, 2012).

O sistema Gurjaú é um dos mais relevantes quanto ao suprimento hídrico na RMR/PE e historicamente evidencia dificuldades operacionais ocasionadas pela presença do Fe, o que pode comprometer a qualidade da água fornecida à população abastecida (COMPESA, 2013). Em 2009 e 2013, alta concentração de Fe na água bruta foi observada com teor de $1,9 \text{ mg L}^{-1}$ e $2,8 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente (Figura 4). Cenário similar foi encontrado por Kumar et al. (2017) em estudo que avaliou a qualidade da água das águas superficiais e subterrâneas em 64 amostras em relação à concentração de ferro usando a técnica ICP-OES, o resultado evidenciou mais de 50% das amostras com presença de ferro além do limite permitido. Uma maior concentração de Fe, corrobora problemas de descoloração, coloração, turbidez e mau gosto à água, como também, fornece acumulações de óxido de Fe em canalizações (DALAI et al., 2015).

O tratamento para remoção de Fe no sistema Gurjaú foi insuficiente, pois não atingiu o padrão de potabilidade exigido pela legislação com $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ (2009) e $1,6 \text{ mg L}^{-1}$ (2013) na água tratada (Tabela 2). Concentrações mais altas do que os padrões recomendados de Fe na água também foram observadas por Rajan et al. (2012), cuja pesquisa concluiu que as altas concentrações do metal eram provenientes de fontes naturais. O Mn e Fe são nutrientes vitais em pequenas doses (HOUSECROFT e SHARPE, 2005; YUCE e ALPTEKIN, 2013).

A presença de altas concentrações de Fe na água pode ser benéfica quando aplicada para remoção simplificada de arsênio (SHARMA et al., 2016). Contudo, a exposição prolongada em doses elevadas pode ser prejudicial (RAJAN et al., 2012; PIRSAHEB et al., 2013). A remoção de Fe é uma das questões problemáticas para a produção de água potável, especialmente pelo risco à saúde humana por exposição a traços metálicos (CHATURVEDI e DAVE, 2012).

A contaminação do metal ferroso na água para abastecimento é uma preocupação de saúde pública devido à sua absorção e acumulação em seres humanos (CHIRON et al., 2003; RAMASAMY, 2012). Em 2013, quando analisadas as concentrações de ferro nas amostras bruta e tratada, o teor de ferro foi cinco vezes maior que o VMP por lei, o que evidencia a necessidade de implantar alternativas para diminuir a quantidade de ferro residual na água de abastecimento; para tal são sugeridas a pré-cloração, filtração e aeração, filtração e ozonização (ELLIS et al., 2000; YUCE e ALPTEKIN, 2013).

Em 2009 não houve o monitoramento no sistema Botafogo. Não há informações disponíveis nos relatórios analisados que justifiquem a ausência de dados ou a não execução da captação das amostras.

O sistema Gurjaú e os subsistemas Caixa D'Água e Jangadinha não atenderam ao VMP do teor de Fe para a água de abastecimento previsto em lei. No ano de 2013, todos os sistemas foram monitorados e cinco dos sete principais que abastecem a RMR/PE, não atenderam ao estabelecido na Portaria de Consolidação Nº 5/2017 quanto ao VMP (Tabela 2).

Conclusões

A remoção de ferro em parte dos sistemas e subsistemas de distribuição de água potável analisados neste estudo não foi eficiente, ou seja, de acordo com as amostras analisadas, a concentração de ferro presente na água bruta e tratada usada para o abastecimento humano excedeu o VMP previsto na legislação brasileira vigente para limites de água seguros, como também, o intervalo entre a captação de amostras para o monitoramento hídrico foi insuficiente pela ausência e/ou periodicidade de coletas inferior ao estabelecido por lei.

Este estudo é uma tentativa de mostrar o cenário da qualidade da água em Pernambuco, bem como, promover a comunicação científica para a sociedade sobre os efeitos resultantes da exposição aos teores de Fe além do permitido.

A presença de Fe em excesso pode implicar em relevantes prejuízos econômicos/operacionais nos sistemas e problemas estéticos com rejeição da água por parte do público consumidor e até mesmo riscos à saúde da população.

Estudos futuros sobre a avaliação do risco para a saúde são cruciais para entender o risco de exposição ao metal através da água potável para os consumidores em Pernambuco.

Diante do não-atendimento à legislação, observado e recorrente em diversos mananciais utilizados como fonte de abastecimento humano em Pernambuco, recomenda-se a regularização e constância no monitoramento, a adoção de processos de tratamento que favoreçam a remoção do Fe excedente, bem como, o acompanhamento efetivo dos órgãos fiscalizadores (Arpe).

Agradecimentos

Agradecemos à Companhia Pernambucana de Saneamento e à Agência de Regulação de Pernambuco pelo apoio na concessão dos dados.

Referência

BHOWMIK, A. K.; ALAMDAR, A.; KATSOYIANNIS, I.; SHEN, H.; ALI, N.; ALI, S. M.; BOKHARI, H.; SCHÄFER, R. B.; EQANI, S. A. M. A. S. Mapping human health risks from exposure to trace metal contamination of drinking water sources in Pakistan. *Science of the Total Environment*, Paquistão, v. 538, n. 1, p. 306-316, 2015.

- BRASIL. Portaria da 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. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Ministério da Saúde, Brasília, DF, 03 out. 2017.
- BRASIL, Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- CHATURVEDI, S.; DAVE, P. N. Removal of iron for safe drinking water. *Desalination*, v. 303, n. 1, p. 1-11, 2012.
- CHEN, L.; ZHANG, J.; ZHENG, X. Coupling Technique for Deep removal of manganese and iron from potable water. *Environmental Engineering Science*, v. 33, n. 4, p. 261-269, 2016.
- CHIRON, N.; GUILLET, R.; DEYDIER, E. Adsorption of Cu (II) and Pb (II) Onto a grafted silica: isotherms and kinetic models. *Water Research*, v. 37, n. 13, p. 3079-3086, 2003.
- CHO, B. Iron Removal Using an Aerated Granular Filter. *Process Biochemistry*, v. 40, n. 10, p. 3314-3320, 2005.
- DHADGE, V. L.; MEDHI, C. R.; CHANGMAI, M.; PURKAIT, M. K. House hold unit for the treatment of fluoride, iron, arsenic and microorganism contaminated drinking water. *Chemosphere*, v. 199, n. 1, p. 728-736, 2018.
- DALAI, C.; JHA, R.; DESAI, V. R. Rice husk and sugarcane baggase based activated carbon for iron and manganese removal. *Aquatic Procedia, India*, v. 4, n.1, p. 1126-1133, 2015.
- DASHTBAN K.; SEYEDEH L.; BARBEAU, B. Integrated pyrolytic fluidized bed-membrane hybrid process for improved iron and manganese control in drinking water. *Water Research*, v. 113, n. 1, p. 50-61, 2017.
- DU, X.; LIU, G.; QU, F.; LI, K.; SHAO, S.; LI, G.; LIANG, H. Removal of iron, manganese and ammonia from groundwater using a PAC-MBR system: the anti-pollution ability, microbial population and membrane fouling. *Desalination*, v. 403, n. 1, p. 97-106, 2017.
- ELLIS, D.; BOUCHARD, C.; LANTAGNE, G. Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration. *Desalination*, v. 130, n. 3, p. 255-264, 2000.
- FARIZWANA, M. R. S.; MAZRURA, S.; ZURAHANIM, F. A.; AHMADROHI, G. Determination of aluminium and physicochemical parameters in the palm oil estates water supply at Johor, Malaysia. *Journal Environmental Public Health*, v. 2010, n. 2, p. 1-8, 2010.
- GUPTA, V. K.; DOBHAL, R.; NAYAK, A.; AGARWAL, S.; UNIYAL, D. P.; SINGH, P.; SHARMA, B.; TYAGI, S.; SINGH, R. Advanced and hyphenated techniques for nano-level analysis of iron in water. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, Inglaterra, v. 42, n. 1, p. 245-256, 2012.
- HASHIM, K. S.; SHAW, A.; AL KHADDAR, R.; PEDROLA, M. O.; PHIPPS, D. Iron removal, energy consumption and operating cost of electrocoagulation of drinking water using a new flow column reactor. *Journal of Environmental Management*, v. 189, n. 1, p. 98-108, 2017.
- HOUSECROFT, C.E.; SHARPE, A.G. The trace metal of life. *Inorganic Chemistry*, v.1, n. 1, p. 6, 2005.
- KHAN, S.; SHAHNAZ, M.; JEHAN, N.; REHMAN, S.; SHAH, M. T.; DIN, I. Drinking water quality and human health risk in Charsadda district, Pakistan. *Journal Clean Production*, v. 60, n. 1, p. 93-102, 2013.
- KIOKO, K.J.; OBIRI, J.F. Household attitudes and knowledge on drinking water enhance water hazards in peri-urban communities in Western Kenya. *Journal of Disaster Risk Studies, África do Sul*, v. 4, n. 1, p. 1-5, 2012.
- KUMAR, V.; BHARTI, P. K.; TALWAR, M.; TYAGI, A. K.; KUMAR, P. Studies on high iron content in water resources of Moradabad district (UP), India. *Water Science*, v. 31, n. 1, p. 44-51, 2017.
- LI, M.; LIU, Z.; CHEN, Y.; HAI, Y. Characteristics of iron corrosion scales and water quality variations in drinking water distribution systems of different pipe materials. *Water Research*, v. 106, n. 3, p. 593-603, 2016.
- MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. *Revista de Engenharia e Tecnologia, São Paulo*, v. 4, n. 1, p. 29-43, 2012.
- NAMBATINGAR, N'; CLEMENT, Y.; MERLE, A.; NEW MAHAMAT, T.; LANTERI, P.; WALLACE, D. R. Heavy metal pollution of Chari river water during the crossing of N'Djamena (Chad). *Toxics*, v.5, n. 4, p. 26, 2017.
- PERNAMBUCO. Relatórios técnicos - Compesa. Agência de Regulação de Pernambuco, 2009.
- PERNAMBUCO. Relatórios técnicos - abastecimento de água. Companhia Pernambucana de Saneamento. 2013.
- PIRSAHEB, M.; KHOSRAVI, T.; SHARAFI, K.; BABAJANI, L.; REZAEI, M. Measurement of heavy metals concentration in drinking water from source to consumption site in Kermanshah, Iran. *World Applied Sciences Journal*, v. 21, n. 3, p. 416-423, 2013.

- RAJAN, S.; NURUL, N. M. F.; APPUKUTTY, M.; RAMASAMY, K. Effects of climate changes on dissolved heavy metal concentrations among recreational park tributaries in Pahang, Malaysia. *Biomedical Research*, v. 23, n. 1, p. 23-30, 2012.
- RAZAK, N. H. A.; PRAVEENA, S. M.; ARIS, A. Z.; HASHIM, Z. Drinking water studies: a review on heavy metal, application of biomarker and health risk assessment (a special focus in Malaysia). *Journal of Epidemiology and Global Health, Arábia Saudita*, v. 5, n. 4, p. 297-310, 2015.
- SALEM, M. G.; EL-AWADY, M. H.; Amin, E. Enhanced removal of dissolved iron and manganese from nonconventional water resources in Delta District, Egypt. *Energy Procedia*, v. 18, n. 1, p. 983-993, 2012.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. ABHID - UFPE, 1997.
- SHAKYA, A. K.; GHOSH, P. K. Simultaneous removal of arsenic, iron and nitrate in an attached growth bioreactor to meet drinking water standards: Importance of sulphate and empty bed contact time. *Journal of Cleaner Production*, v. 186, n. 1, p. 1011-1020, 2018.
- SHARMA, A.; SORLINI, S.; CROTTI, B.; COLLIVIGNARELLI, M.; TJELL, J.; ABBÀ, A. Melhoria na remoção de arsênio de água subterrânea em nível doméstico com ferro de ocorrência natural. *Revista Ambiente & Água*, v.11, n. 3, p. 486-498, 2016.
- SHARMA, B.; TYAGI, S. Simplification of metal ion analysis in fresh water samples by atomic absorption spectroscopy for laboratory students. *Journal of Laboratory Chemical Education, India*, v. 1, n. 3, p. 54-58, 2013.
- STIRIBA, Y.; GOURICH, B.; VIAL, C. Numerical modeling of ferrous iron oxidation in a split-rectangular airlift reactor. *Chemical Engineering Science*, v. 170, n. 1, p. 705-719, 2017.
- SUN, H.; SHI, B.; YANG, F.; WANG, D. Effects of sulfate on heavy metal release from iron corrosion scales in drinking water distribution system. *Water Research*, v.114, n. 1, p. 69-77, 2017.
- TEKERLEKOPOULOU, A. G.; PAVLOU, S.; VAYENAS, D. V. Removal of ammonium, iron and manganese from potable water in biofiltration units: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v. 88, n. 5, p. 751-773, 2013.
- World Health Organization - WHO. Health aspect of plumbing. 2006.