

VIABILIDADE DA ELETROFLOCULAÇÃO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DA ÁGUA DE POÇO ARTESIANO UTILIZANDO MATERIAIS DE BAIXO CUSTO

Airton Silva Braz (1); Thiago Murillo Diniz da Fonseca (2); Ronaldo de Araújo Silva (3); Ingrid Ferreira Matias Silva (4); Edmilson Dantas da Silva Filho (5)

- (1) Instituto Federal da Paraíba. E-mail: airton_silva_braz@hotmail.com
(2) Instituto Federal da Paraíba. E-mail: murillo_2011@hotmail.com
(3) Instituto Federal da Paraíba. E-mail: ronaldosilva120@outlook.com
(4) Instituto Federal da Paraíba. E-mail: ingridferreiramatias@gmail.com
(5) Instituto Federal da Paraíba. E-mail: edmsegundo@hotmail.com

Resumo: Além da contaminação em lençóis freáticos por atividades antrópicas como, por exemplo, o uso intensivo de fertilizantes agrícolas no solo, causando o excesso de nutrientes em alguns corpos hídricos, é comum a ocorrência natural de elevadas concentrações de sais e material particulado em águas superficiais e subterrâneas devido, principalmente, a influência da composição geológica do local. No que se refere ao abastecimento humano, caso essas águas sejam consumidas sem análise prévia, ou tratamento adequado, poderão ocasionar implicações na saúde. Assim, o presente trabalho objetiva realizar a aplicação do tratamento de água de um poço artesiano, reutilizando aparelhos alternativos de baixo custo, através do processo de eletrofloculação, que consiste em submeter a solução à passagem de uma corrente elétrica por um dispositivo chamado “eliminador de pilhas”, que é uma adaptação de um carregador de celular em desuso aderido a um par de eletrodos metálicos (pregos). A reação de oxirredução, evidenciada pela liberação de gases em um eletrodo, permite que haja a floculação das partículas sólidas, separando, assim, as impurezas da água. Após o final do processo, a solução é então filtrada. É realizada a análise físico-química da água antes e após o tratamento. Atentaram-se aos parâmetros pH, cloreto, condutividade elétrica, cinzas, sólidos dissolvidos totais, dureza total e cloro total. Todos os resultados foram obtidos em triplicata. Efetuou-se o cálculo comum de rendimento do sistema, baseado em porcentagem simples. Embora pesquisas tenham comprovado a eficiência da eletrofloculação aplicada a outros tipos de água, os resultados obtidos neste trabalho atestam que a viabilidade desse método foi inferior ao resultado esperado, pois a hipótese era tornar a água potável, ao passo em que isso não aconteceu, tendo em vista que não houve diferenciação significativa nos valores de eficiência (%) obtidos, com exceção do cloro total, provavelmente em virtude da baixa eficácia no uso do carregador no sistema, suscitando a necessidade de aprimoramento da técnica, ou combinação de outras tecnologias.

Palavras-chave: tratamento de água, impurezas, eletroquímica, oxirredução.

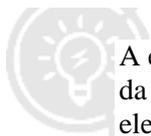
1 Introdução

Tratamento de água é a designação do conjunto de procedimentos físicos, químicos e biológicos na água, que visam deixar a água agradável à vista e ao paladar, além de eliminar a proliferação de doenças causadas, muitas vezes, por microrganismos patogênicos, e buscam torná-la potável e propícia para o consumo humano. Dentre as características do tratamento físico, destacam-se a remoção de substâncias que não estão dissolvidas na água, e que se encontram em suspensão; no tratamento químico, as substâncias encontram-se dissolvidas na

água; e o tratamento biológico diz respeito à inibição de vírus, bactérias, algas ou outros pequenos seres vivos.

A eletrofloculação é o processo físico-químico que consiste na remoção de impurezas de um líquido através da floculação de suas partículas, por meio de uma reação de oxirredução. As técnicas com uso de aparelhos eletroquímicos são bastante eficientes no que se refere ao tratamento de efluentes de diferentes tipos (Crespilho e Rezende, 2004, apud Brito et al., 2012).

Também chamado de eletroflotação, o método é aplicado no tratamento de poluentes domésticos e industriais, visando o reuso dos efluentes e seu descarte no meio ambiente (SENA et al., 2014). Essa tecnologia tem demonstrado eficiência como alternativa de tratamento de água. Segundo Ciardelli e Ranier (2001, apud PASCHOAL; TREMILIOSI FILHO, 2005):



A eletrofloculação pode ser um método promissor no processo de reciclagem da água, uma vez que combina a oxidação parcial do poluente, por via eletrolítica, com a precipitação físico-química ou eletroquímica do lodo (p. 567).

Tipicamente, águas subterrâneas podem sofrer contaminação com águas conatas, isto é, aquelas que contêm sedimentos depositados e acumulativos no interior de rochas sedimentares, frequentemente contaminadas com sais e outros elementos químicos (NAIME, 2014). Apresentam dureza elevada devido, principalmente, aos carbonatos (CO_3^{-2}) e bicarbonatos (HCO_3^-) naturalmente existentes.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou empregar a tecnologia de eletrofloculação, utilizando materiais de baixo custo, no tratamento de água de poço artesiano da zona rural do município de Soledade - PB. Supõe-se que a reutilização de materiais eletroeletrônicos (como carregador de celular) permita bom desempenho no sistema da eletrofloculação; e supõe-se, ainda, que o tratamento seja capaz de reduzir a suspensão coloidal do material particulado na água de poço e minimizar a quantidade de sais dissolvidos, tornando a água propícia para o consumo humano, enquadrando-se aos padrões de potabilidade e qualidade recomendados pela legislação vigente.

2 Metodologia

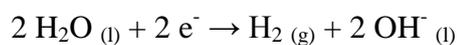
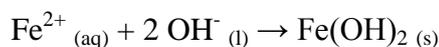
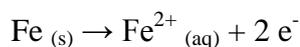
2.1 Local de experimentação

O experimento foi realizado no laboratório de Química do IFPB – *campus* Campina Grande.

2.2 Eletrofloculação

2.2.1 Reação completa de oxirredução

Conforme demonstra a equação global 1, um eletrodo (agente redutor, também chamado de ânodo) fornece íons metálicos para a formação do hidróxido de ferro (oxidação eletrolítica). Simultaneamente, bolhas de gás hidrogênio são produzidas (redução) no outro eletrodo (agente oxidante, também chamado de cátodo), permitindo que os flocos formados pela base sejam arrastados, ajudando no estágio da separação¹.



2.2.2 Sistema físico

Utilizou-se como fonte de alimentação um carregador de aparelho celular em desuso da marca SAMSUNG® modelo ATADS30, com entrada 100 – 240V ~ 50-60Hz (0,15A) (automático) e saída de 4,75V (0,55A). Nas extremidades dos fios, foram acoplados dois pregos de ferro polidos com cabeça, de 34 mm, a fim de servirem de eletrodos metálicos.

Tomou-se um volume de 400 mL da água de poço. Foram adicionadas três gotas da solução indicadora de metil-orange ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$). Essa substância permite que haja a precipitação do $\text{Fe}(\text{OH})_2$ formado, que é pouco solúvel em água.

A água do poço artesiano foi submetida ao processo de eletrofloculação por aproximadamente duas horas, com passagem de corrente elétrica ininterrupta. Ao fim do processo físico-químico, foi efetuada a filtração comum da água.

2.3 Variáveis analisadas

Foram analisados os parâmetros físico-químicos e físicos na água, antes e depois do sistema (pré e pós-tratamento). Observaram-se os parâmetros a seguir.

2.3.1 pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com pHmetro da marca *TECNAL* modelo *TEC-2*, previamente calibrado com soluções-tampão de pH 7,0 e pH 4,0, com resultados expressos em unidades logarítmicas de pH.

¹ Adaptado do manual de experiências do portal Ponto Ciência (2014).

2.3.2 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica foi analisada pelo método de ensaio, com condutivímetro portátil da *LUTRON*, modelo *CD-4303*, com resultados expressos em unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 25°C .

2.3.3 Teor de Cinzas

As cinzas também foram analisadas pelo condutivímetro, cujos valores foram mensurados em %Cz.

2.3.4 Sólidos Dissolvidos Totais

Os S.T.D. foram determinados por meio do condutivímetro, expressos em termos de parte por milhão (ppm) a 25°C .

2.3.5 Dureza Total

A dureza total, dada pela soma das concentrações dos íons de Ca^{+2} e Mg^{+2} , foi determinada pelo método complexométrico, com solução padronizada de EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$) a 0,01 M, na presença do indicador negro de eriocromo T ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{O}_7\text{SNa}$). Em conformidade com a prática atual, a dureza total é expressa como carbonato de cálcio (CaCO_3), em miligramas por litro. (APHA, 1985).

2.3.6 Cloreto

O cloreto é analisado pelo método de Mohr (volumetria de precipitação), titulando-se com solução padronizada de nitrato de prata (AgNO_3) a 0,0141 N na presença do indicador de cromato de potássio (K_2CrO_4). Os dados são expressos em mg/L de Cl^- .

2.3.7 Cloro Total

O cloro total foi determinado pelo método fotométrico, com fotômetro digital portátil da marca *HANNA INSTRUMENTS* modelo *CHECKER[®] HC HI 711*. Os resultados de cloro total são expressos em ppm.

2.4 Análise estatística

Todos os resultados foram obtidos em triplicata. A análise estatística foi realizada através do software computacional editor de planilha eletrônica *MICROSOFT OFFICE EXCEL 2010[®]* versão 14.0.7. Foi adotado o cálculo de porcentagem simples para a eficiência (%). Os valores foram comparados com os padrões de potabilidade da portaria de N° 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

3 Resultados e Discussão

É bastante evidente a suspensão coloidal do material particulado na água do poço artesiano, evidenciado pelo seu aspecto visual, bem como a concentração de sais, justificada pelos elevados resultados de cloreto e condutividade. Geralmente, águas salinas têm essa característica devido à formação geológica no qual os poços se encontram, tendo em vista que na Paraíba, as rochas cristalinas são predominantemente comuns.

De acordo com a tabela 1, pôde-se constatar que, antes do tratamento, a condutividade elétrica era de 3123,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$; e após a eletrofloculação, decresceu para 2546,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, demonstrando uma eficiência de 18% no processo. A portaria 2914 não estabelece valor máximo permitido para condutividade, mas é comum na literatura se verificar altos valores de para esse tipo de água. SILVA (et al., 2015), pesquisando as características físico-químicas da água de poço artesiano da região do semiárido paraibano, obtiveram entre 7015,0 e 8574,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, corroborando com seu alto cloreto. Aliás, houve baixa eficiência na diminuição do cloreto (13%), de 9299,74 para 8099,77 $\text{mg}/\text{L Cl}^-$. Além disso, esses valores estão demasiadamente abaixo do VMP pela legislação, que é de 250,0 $\text{mg}/\text{L Cl}^-$.

Verificou-se que o pH da água foi alterado, de 8,02 para 9,44. A tendência de elevação do pH pode ser explicada em função da presença do hidróxido de ferro, tornando o pH ainda mais alcalino. Os valores obtidos estão dentro da faixa permitida pela portaria de Nº 2914/11, que permite um pH máximo de 9,5. Convencionou-se que águas com pH básico podem ser benéficas ao organismo, devido a presença de nutrientes e sais minerais importantes para as funções vitais do corpo, porém, é preciso que haja um equilíbrio químico nas demais espécies envolvidas, isto é, que as concentrações de dureza e cloreto, por exemplo, não sejam excedentes, do contrário, ocasionará implicações nos órgãos podendo, inclusive, acarretar em doenças.

As cinzas são constituintes inorgânicos, minerais na água que, em excesso, também podem ser prejudiciais. Não há valores para se comparar o teor de %Cz na literatura de águas de poços artesianos, nem dos padrões da portaria 2014 do Ministério da Saúde. Verificou-se uma eficiência de apenas 2,1% na remoção das cinzas (de 13,28 para 13 %Cz). Os sólidos dissolvidos totais são as partículas em suspensão na água. Antes do tratamento tinha-se 1563,0 ppm, e depois da eletrofloculação, 1527,33 ppm, mais que a metade do valor máximo permitido pela legislação, que é de 1000 ppm (ou 0,1%). Houve remoção de apenas 2,3% dessas partículas, ou seja, bastante ineficiente.

O valor da dureza total foi reduzida de 769,33 para 649,33 mg/L de CaCO₃. O sistema demonstrou uma eficiência de aproximadamente 16% na diminuição dos sais de cálcio e magnésio. Ambos os valores obtidos estão muito acima do limite máximo permitido pela portaria 2914, que é de 500 mg/L de CaCO₃ para água potável. A dureza pode variar de zero a centenas de miligramas por litro, dependendo da fonte e do tratamento ao qual a água foi submetida (APHA, 1985). Farias (et al., 2017, apud Alves, 2007) explica que, além de formar incrustações nas tubulações e em alguns equipamentos, a dureza da água pode alterar suas características organolépticas (isto é, aquelas características que podem ser percebidas pelos sentidos humanos, como por exemplo a cor, o odor, o sabor etc.) e ocasionar a formação de cálculos renais.

No que diz respeito ao parâmetro cloro total, que é a soma de todos os compostos contendo cloro, verifica-se que o teor diminuiu significativamente de 0,2 para 0,04 ppm, atendendo ao valor máximo permitido pela portaria MS/2011, que é de 10,0 ppm, para ambos os testes (pré e pós-tratamento). Nesse caso específico, notou-se que a eletrofloculação desempenhou grande eficiência na remoção de cloro, o que representa 80%.

Tabela 1. Dados pré e pós-tratamento da água de poço artesiano do sítio Cardeiro, em Soledade – PB.

Parâmetro	Unidade de medida	Eletrofloculação		V.M.P.*	Eficiência (%)
		Antes	Depois		
Condutividade	μS/cm ⁻¹	3123,33	2546,0	–	18,5
Cloreto	mg/L Cl ⁻	9299,74	8099,77	250,0	12,9
pH	–	8,02	9,44	9,5	–
Cinzas	%Cz	13,28	13,0	–	2,1
STD	ppm	1563,0	1527,33	1000,0	2,3
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	769,33	649,33	500,0	15,6
Cloro Total	ppm	0,2	0,04	10,0	80,0

*Valor Máximo Permitido, segundo o padrão de potabilidade de água da portaria MS 2914/11

4 Conclusões

A partir dos resultados obtidos e discutidos, conclui-se que o método da eletrofloculação, embora seja eficiente no tratamento de vários tipos de águas, nesse caso de estudo especificamente, mostrou baixíssima eficiência no processo de remoção das impurezas da água de poço artesiano, com exceção da remoção do cloro total, que foi de 80%, suscitando a necessidade de aprimoramento dessa técnica.

5 Referências Bibliográficas

APHA – **American Public Health Association**; Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. A. E. Greenberg, L. S. Clesceri e A. D. Eator, WASHINGTON: Victor Graphics, 1985.

BRASIL. **Portaria Nº 2914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde, Brasília, DF, 2011.

BRITO, J. F.; FERREIRA, L. O.; SILVA, J. P.; RAMALHO, T. C. **Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletrofloculação**. Química Nova, v. 35, n. 4, p. 728-732, 2012.

FARIAS, D. S. C. R.; JUNIOR, K. L. A. G.; FARIAS, S. A. R. Avaliação físico-química em águas de poços tubulares no município de Tenório. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 2, 2017. Campina Grande. **Anais**. Campina Grande: Realize eventos e editora, 2017.

PASCHOAL, F. M. M.; TREMILOSI FILHO, G. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais**. Química Nova, v. 28, n. 5, p. 766, 2005.

PONTO CIÊNCIA. **Portal pontociencia: Despoluindo a água - eletrofloculação**. Belo Horizonte: UFMG, 2014. Disponível em: <<http://www.pontociencia.org.br/experimentos/pdf/917>>. Acesso em 23 abr. 2017.

NAIME, R. **Águas superficiais e subterrâneas e meio ambiente**. Revista eletrônica Ecodebate, 2014. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2014/06/10/aguas-superficiais-e-subterraneas-e-meio-ambiente-artigo-de-roberto-naime>>. Acesso em 03 jun. 2017.

SILVA, R. A.; SILVA FILHO, E. D.; JUNIOR, J. N.; BRAZ, A. S.; GONZAGA, F. A. S. Caracterização físico-química das águas dos poços tubulares localizados nas cidades de Cuité e Areial, no semiárido paraibano. In: Simpósio de Segurança Alimentar, 5, 2015, Bento

Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2015.

SENA, J. A.; OLIVEIRA, M. A. L.; OLIVEIRA, N. P. M.; BEZERRA, D. P. Tratamento de efluente doméstico por meio da eletrofloculação. In: Congresso Brasileiro de Química, 54, 2014, Natal. **Anais**. Natal: Associação Brasileira de Química, 2014.

