

REMOÇÃO DE H₂S EM ÁGUA SUBTERRÂNEA PELO MÉTODO DE DESSORÇÃO GASOSAREMOVAL OF H₂S IN GROUNDWATER BY THE GAS DESORPTION METHOD

André Búrigo Leite

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBAandreburigo@ifba.edu.br

Submissão: 26 de março de 2020 Aceitação: 13 de março de 2021

Resumo

Dos recursos que a natureza proporciona, a água é essencial à sobrevivência do meio biótico. Não só está disponível na superfície terrestre como também pode ser captada em aquíferos subterrâneos. Entretanto, para ser consumida, a água deve estar apta para tal, obedecendo aos critérios de potabilidade, contendo as concentrações permitidas de agentes contaminantes e poluentes ou estando livre dessas substâncias, que podem atribuir cor, gosto e/ou odor. Dentre os contaminantes comuns em águas subterrâneas, encontra-se o sulfeto de hidrogênio que confere um odor característico, idêntico ao de ovo podre. O presente estudo analisou a qualidade da água do poço construído no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), *campus* Porto Seguro, cuja concentração de H₂S foi determinada por titulação iodométrica. A partir do método de dessorção gasosa, o objetivo foi remover o sulfeto contido na água. A pesquisa exigiu construção de uma torre de dessorção de bancada, operando em batelada, com vazão de entrada do ar constante de 13,59 m³ h⁻¹. A vazão de alimentação de água foi 0,0030 m³ h⁻¹ e 0,0015 m³ h⁻¹ e o rendimento do sistema para a remoção do sulfeto obtido para essas vazões foi de 60,842 ± 1,859% e 68,326 ± 2,352%, respectivamente. Os resultados atenderam às expectativas acerca da remoção do teor de sulfeto de hidrogênio dissolvido na água bem como mostraram que o protótipo da torre de dessorção pode ser utilizado em grande escala.

Palavras-chave: Águas Subterrâneas; Odor e Gosto; Sulfeto de Hidrogênio; Dessorção; Poço Profundo**Abstract**

The resources that nature provides, water is essential to the culture of the biotic environment. It is not only available in the Earth's surface, but also can be captured in underground aquifers. However, to be consumed, the water must be able to do so, according to the potability criteria, containing the allowable concentrations of contaminants and pollutants or being free of these substances that give color, taste and odor. Among the common contaminants in groundwater, hydrogen sulfide gives characteristic odor similar to rotten eggs. The present study analyzed the water quality of the artesian well built at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia (IFBA), *campus* Porto Seguro, whose H₂S concentration was determined by iodometric. Using the gas desorption method, the objective was removed sulfide contained in the water. The research required the construction of a bench-top desorption tower, operating in batches, with a constant air intake flow of 13.59 m³ h⁻¹. The water supply flow was 0.0030 m³ h⁻¹ and 0.0015 m³ h⁻¹ and the system yield for removing the sulfide obtained for these flows was 60.842 ± 1.859% and 68.326 ± 2.352%, respectively. The expectations met expectations regarding the removal of the hydrogen sulfide content dissolved in the water as well as determining that the desorption tower prototype can be used on a large scale.

Keywords: Groundwater; Odor and Taste; Hydrogen Sulfide; Desorption; Artesian Well

1 INTRODUÇÃO

A demanda por recursos hídricos tem se expandido com o aumento das atividades humanas, resultando em preocupações ecológicas e ambientais (MENEZES *et al.*, 2014). Em geral, a qualidade da água subterrânea pode ser influenciada por vários processos, dentre os quais se destacam: processos naturais como a sua velocidade no aquífero, a qualidade da recarga, interação com solos e rochas, interação com outros tipos de aquíferos etc. (HUNTINGTON, 2006) e as atividades antropogênicas, incluindo agricultura, indústria e desenvolvimento urbano (JEONG, 2001; OKI; KANAE, 2006).

No Brasil, as águas subterrâneas são fundamentais para o abastecimento público (ANA, 2004). O decreto nº 7.217/2010 da Presidência da República dispõe em seu art. 3º, Seção I, Capítulo III, diretrizes nacionais para o saneamento básico, tendo como um dos princípios para alcançar seu objetivo a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais, de modo a não provocar riscos à saúde pública e promover o uso racional da energia, conservação e racionalização do uso da água e dos demais recursos naturais (BRASIL, 2010).

De acordo com Castañeda, Passo e Benetti (2012), a qualidade das águas superficiais e subterrâneas tem se deteriorado em razão das descargas de contaminantes presentes em fontes pontuais e, também, nas difusas. Alguns autores têm relatado a contaminação da água subterrânea como consequência do uso da terra. É algo que ocorre em diversos países do mundo (DAS *et al.*, 2010; CALIJURI *et al.*, 2012; LI; MERCHANT, 2013; WHITE; RUBLE; LANE, 2013), incluindo-se o Brasil (MENEZES *et al.*, 2014; GROTT *et al.*, 2018; GONÇALVES *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2014).

Nas últimas décadas, a legislação e as políticas públicas têm sido aprimoradas, resultando na melhora das ações de gerenciamento das áreas contaminadas. Entretanto, falta à sociedade civil e aos responsáveis por tomadas de decisão realizar ações efetivas para a proteção do recurso hídrico subterrâneo. Avalia-se que tal situação seja uma consequência do desconhecimento pela sociedade do real papel e valor das águas subterrâneas (BERTOLO; HIRATA; ALY JUNIOR, 2019).

A NBR 9896/93, ponderando os riscos ao

indivíduo advindos da exposição e/ou o contato com altas dosagens de substâncias contaminantes na água, estabelece que, em relação à sua qualidade, deve haver rigor no controle da concentração de poluentes de acordo com a finalidade do seu uso (ABNT, 1993). Os órgãos reguladores da qualidade da água potável consideram gosto e odor como um problema estético, que não afeta diretamente a saúde humana. Isto se reflete nos padrões de potabilidade estabelecidos por diversos países. No Brasil, gosto e odor enquadram-se na categoria de padrões de aceitação, havendo um valor máximo permitido descrito pela expressão “não objetável” (BRASIL, 2006).

Entre os compostos presentes nas águas subterrâneas, encontra-se o sulfeto de hidrogênio. É um gás incolor, potencialmente perigoso à saúde humana e ao qual a exposição em concentrações superiores a 700-1500 ppm leva à morte em alguns minutos devido a seu alto potencial tóxico (COSTIGAN, 2003). Enquadra-se entre os compostos que geram cor, gosto e odor; neste caso, odor semelhante ao de “ovo podre” quando as concentrações estão entre 0,05 e 1,0 mg L⁻¹ (CASTAÑEDA, 2010). Segundo a portaria nº 104/02 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), alguns compostos de enxofre, na presença de água, ocasionam a corrosão de aços e ligas de alumínio; e o sulfeto de hidrogênio é o componente mais crítico no que se refere à corrosão.

No caso da contaminação da água ocasionada por gases, a remoção destes pode ocorrer por meio da separação através da transferência de massas, conforme mostraram os ensaios realizados por Zat e Benetti (2011). Quando se tem por objetivo retirar componentes gasosos de uma mistura líquida pelo contato com um gás insolúvel, a operação em questão é denominada dessorção ou *stripping* (GOMIDE, 1988). Segundo Zat (2009), a dessorção gasosa caracteriza-se por ser parte de um conjunto de metodologias em que ocorrem transferências de massa de uma fase a outra devido à diferença de volatilidade e solubilidade das substâncias e à afinidade entre as fases envolvidas.

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), em Porto Seguro, possui um poço cuja água apresenta características possivelmente incongruentes com os padrões de potabilidade definidos pelo Ministério da Saúde e estabelecidos pelo decreto

nº 7.217 (BRASIL, 2010), dentre eles, um odor forte de “ovo podre”, indicativo da presença de sulfeto de hidrogênio. Assim, esta pesquisa teve como objetivo averiguar a quantidade desse contaminante presente na água do poço em questão e verificar a eficiência de uma torre de dessorção de bancada, operando em batelada, como um método alternativo para removê-lo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Potabilidade em águas subterrâneas

Dentre os recursos que a natureza disponibiliza, a água caracteriza-se como o mais importante, sendo indispensável para sobrevivência de todos os organismos. Encontrada principalmente no estado líquido, a água é um recurso natural renovável, por meio do ciclo hidrológico. Quanto à sua distribuição, em escala global, a quantidade que se encontra subterrânea corresponde a 1,7% de toda a massa de água do planeta (BRAGA *et al.*, 2005). A água apropriada ao consumo humano, aquela cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde, é denominada como potável (BRASIL, 2011).

A qualidade da água é mensurada a partir de determinados parâmetros que se baseiam em padrões adequados à saúde, em consonância com a legislação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). Segundo Andrietti e colaboradores (2016), nas últimas décadas, tem-se observado o crescente aumento de estudos sobre o monitoramento da qualidade da água.

A qualidade biológica da água é uma questão preocupante em nível mundial, principalmente em relação ao seu uso para o consumo humano, uma vez que a presença de microrganismos pode causar doenças infecciosas, o que constitui um grande encargo sobre a saúde pública (LIU *et al.*, 2012).

Sabe-se que além da poluição direta das fontes de água e dos sistemas de distribuição que podem ocorrer ocasionalmente, as condições higiênico-sanitárias e a conservação dos poços e reservatórios de água podem ser responsáveis pela sua contaminação (CAMPOS *et.al*, 2017).

O padrão de potabilidade da água, mencionado anteriormente, é determinado pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), que, entre outras atribuições, estabelece por meio da portaria

nº 2.914/2011 que a água produzida e distribuída para consumo humano deve ser controlada. A legislação também estabelece o limite de aceitação de determinados contaminantes presentes na água. Para o sulfeto de hidrogênio, contaminante alvo deste trabalho, o valor máximo permitido, de acordo com o padrão organoléptico de potabilidade, é de 0,1 mg L⁻¹ (BRASIL, 2011).

Modalidades de abastecimento coletivo de água distintas do sistema de abastecimento, incluindo fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontais e verticais, entre outras, caracterizam-se como alternativas de fornecimento de água para consumo humano (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). A produtividade de poços, acompanhada da disponibilidade hídrica subterrânea no Brasil, tem impulsionado a atividade de exploração dos aquíferos no país para o consumo da água. Estima-se que haja, pelo menos, 416 mil poços no país, e um aumento anual de 10,8 mil novas captações, atendendo entre 30 e 40% da população (HIRATA; ZOBY; OLIVEIRA, 2010).

2.2 Odor, cor e gosto na água

A segurança da água potável é afetada pela qualidade percebida pelos sentidos dos consumidores. Se a água apresenta gosto, coloração e/ou odor desagradáveis, mesmo que estes aspectos não ponham a saúde em risco, geram desconfiança ao consumidor, forçando-o à adoção de medidas que, por não estarem submetidas a monitoramento, não oferecem garantia de potabilidade (CASTAÑEDA, 2010). Os indicadores físicos como a turbidez, a cor, o sabor e o odor que a água utilizada para abastecimento ou consumo possa apresentar sinalizam a sua possível contaminação ou poluição (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2009).

A cor, proveniente da presença de substâncias solubilizadas, geralmente de natureza orgânica, quando associada à turbidez pode tornar a água imprópria para o consumo humano pelo seu aspecto estético, e manchar roupas ou determinados itens, como aparelhos sanitários (BRAGA *et al.*, 2005). Esse aspecto turvo é causado por partículas de matéria em suspensão que, ao se dispersarem, absorvem a luz impedindo assim a sua passagem. Lenzi, Favero e Luchese (2009) descrevem assim a turbidez, ratificando ainda que, se a natureza química das substâncias

associadas à água não for tóxica, a turbidez torna-se apenas uma questão de estética.

A presença de constituintes inorgânicos em alta concentração, como o gás sulfídrico, por exemplo, e a de substâncias orgânicas provenientes de ações antropogênicas são alguns dos vários fatores que conferem à água odor e gosto geralmente desagradáveis. Segundo Zat (2009), o odor e o gosto da água devem ser considerados em conjunto pelo fato de a sensação de um originar a sensação do outro.

2.3 Sulfeto de hidrogênio em águas subterrâneas

O sulfeto de hidrogênio é um gás incolor, de cheiro desagradável característico, sendo mais denso do que o ar. É também um gás inflamável, cuja temperatura de autoignição é de 260°C (MAINIER; ROCHA, 2003). O sulfeto de hidrogênio pode ser encontrado em pequenas quantidades no corpo humano, pois pode ser produzido pelas bactérias naturais existentes na boca, sendo um componente do mau hálito (halitose). A síntese de proteínas sulfuradas por meio de bactérias no trato intestinal humano também produz sulfeto de hidrogênio (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR, 1999).

O H₂S é um gás tóxico e sua ingestão através da água potável pode ocasionar diversos danos ao organismo como desconforto estomacal, náuseas, vômitos, sonolência, amnésia, perda de consciência, delírio, alucinações, dificuldade em engolir, baixa pressão arterial, diminuição da frequência cardíaca, visão dupla e convulsões epiléticas (EDWARDS; ALHARTHI; GHALY, 2011). Esses autores ainda relatam que, no sangue, o H₂S é rapidamente oxidado pelo oxigênio molecular, o que reduz o poder de oxidação da hemoglobina. O sulfeto de hidrogênio não oxidado pode agir sobre o sistema nervoso central e causar tanto paralisia quanto insuficiência respiratória.

A produção de sulfetos ocorre devido à redução de sulfatos, sulfitos e das demais substâncias sulfuradas em ambientes anaeróbios através da ação de bactérias anaeróbias (ZAT, 2009). Os principais compostos que contêm enxofre e se encontram presentes em águas subterrâneas são: sulfeto de hidrogênio (H₂S), hidrogenossulfeto (HS⁻) e sulfeto (S²⁻); e suas ocorrências são extremamente dependentes do pH (EDWARDS; ALHARTHI; GHALY, 2011).

2.4 Métodos convencionais de determinação do H₂S na água

O monitoramento da qualidade da água destinada para o consumo humano e o seu devido tratamento são de grande importância e extrema necessidade. Quaisquer alterações nos padrões que constam na legislação decorrentes de uma possível irregularidade expõem a saúde humana a sérios riscos.

O sulfeto de hidrogênio pode estar presente tanto no ar ambiente quanto na água. Através de pesquisas, Tacla (2004) concluiu que as metodologias mais empregadas para se determinar a concentração de sulfeto de hidrogênio em amostras de ar ambiente são a cromatografia gasosa, detecção eletroquímica, os métodos iodométricos, método espectrofotométrico ou calorimétrico de azul de metileno, método instantâneo usando papel ou cerâmica impregnada com acetato de chumbo ou cloreto de mercúrio, cromatografia iônica, condutividade térmica e titulação potenciométrica. Para a determinação de sulfeto de hidrogênio dissolvido na água são mais utilizados o método colorimétrico do azul de metileno e a titulação com iodo (ATSDR, 1999).

3 METODOLOGIA

O poço do IFBA no Campus Porto Seguro foi construído para funcionar como uma alternativa ao sistema público de abastecimento e fornecer água potável para o consumo e para a utilização em serviços. Visou à redução de custos, aumentando a disponibilidade do recurso pela instituição (IFBA, 2011). O poço possui 80 metros de profundidade e vazão (medida experimentalmente) de 1, 242 m³ h⁻¹. Foi construído em conformidade com as regulamentações previstas para a legalidade de construção desse tipo de reservatório e de acordo com o que é proposto pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (IFBA, 2011).

A vazão do poço foi determinada experimentalmente, utilizando-se um recipiente com volume de 20 litros e um cronômetro. Inicialmente, ligou-se a bomba do poço e se esperou até que a água completasse o volume (20L), medindo-se o tempo. O procedimento foi realizado em triplicata. Foram coletadas amostras de água do poço, e foram medidos parâmetros físico-químicos como: pH, oxigênio dissolvido (OD), salinidade, condutividade e temperatura.

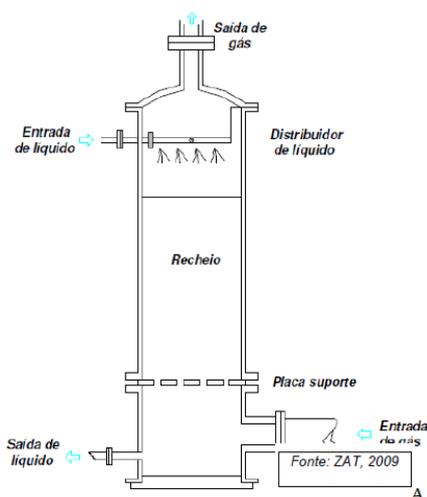
Para as medições de temperatura e pH, utilizou-se o pH Tecno-pon®, modelo mPA-210; e para os demais parâmetros, o medidor multiparâmetros HANNA®, modelo HI 9829-02202. A concentração do sulfeto de hidrogênio foi determinada por titulação iodométrica, parâmetro: USGS Test Method I-3840.

A partir dos trabalhos de Castañeda (2010) e com base no esquema elaborado por Zat (2009), foi construída a torre de dessorção de bancada (Figura 1) com a finalidade de avaliar a sua eficiência na remoção do H₂S.

Amostras de água foram submetidas à análise do teor de H₂S (USGS Test Method I-3840) antes e após o tratamento por meio da torre de

dessorção. O sistema foi operado com vazão da saída de água $Q = 0,0030 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, durante 100 minutos, posteriormente essa vazão foi reduzida para $Q = 0,0015 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema. A torre foi posta em atividade de forma contínua, de modo que cada amostra foi coletada em intervalos de 20 minutos para $Q = 0,0030 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e de 40 minutos para $Q = 0,0015 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Nas duas vazões, os intervalos de tempo entre uma amostra e a seguinte foram o tempo suficiente para completar o volume de 1 litro de água. As análises foram realizadas em triplicata para cada ponto de coleta, tanto para a determinação de H₂S, quanto para a caracterização da água após o tratamento.

Figura 1 – Esquema de funcionamento de uma torre de dessorção gasosa e o equipamento de bancada construído



Fonte: A – Torre dessorção de ZAT (2009).

B – Equipamento construído pelos autores.



4 RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

4.1 Cálculo da vazão do poço e determinação do H₂S na água

A bomba do poço depois de 58 segundos ligada completou um volume de 20 litros (média da triplicata), medida que equivale a $1,242 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A concentração de sulfeto de hidrogênio na água foi de $0,3206 \text{ mg L}^{-1}$ (média da triplicata), valor que está 300% além do permitido pela legislação, conforme a portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece como valor máximo permitido o teor de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012)

4.2 Verificação da remoção do H₂S após tratamento

A figura 2 apresenta os resultados para a determinação do teor de sulfeto de hidrogênio na água após esta ser submetida ao tratamento por meio da torre de dessorção operando a uma vazão de $0,0030 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Durante os primeiros minutos, não se pôde constatar uma remoção de forma efetiva, tendo em vista que se trata de uma coluna com recheio cuja função é aumentar o contato entre o líquido e o vapor, favorecendo a transferência de massa entre as fases (ROITMAN, 2002). Contudo, notou-se que a eficiência do

protótipo melhorou com o passar do tempo, estando a água em processo constante de tratamento.

A temperatura e pressão são fatores que influenciam diretamente na eficiência de uma coluna de dessorção. O aumento da temperatura tende a favorecer o sistema, uma vez que o soluto dissolvido tem a sua solubilidade aumentada (ZAT, 2009). Gomide (1988) afirma que, para dessorção, é recomendado operar com uma temperatura alta

e pressão baixa, pois, quando a pressão do gás é reduzida, diminuem-se os impedimentos para o soluto ser transferido.

Após se observar que os valores medidos para as concentrações de sulfeto eram semelhantes, reduziu-se a vazão da saída de água do reservatório para $Q = 0,0015 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a fim de se obter um maior tempo de residência e um menor valor para o teor do contaminante, com intervalo de 40 minutos entre os ensaios (Figura 3).

Figura 2 – Taxa de remoção do H_2S para vazão de entrada de água $Q = 0,0030 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

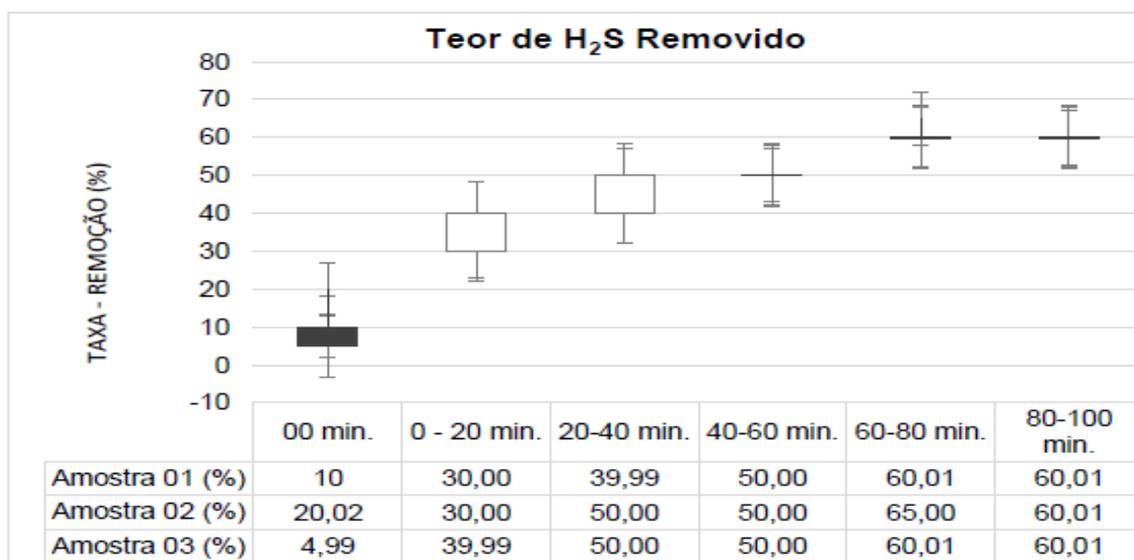
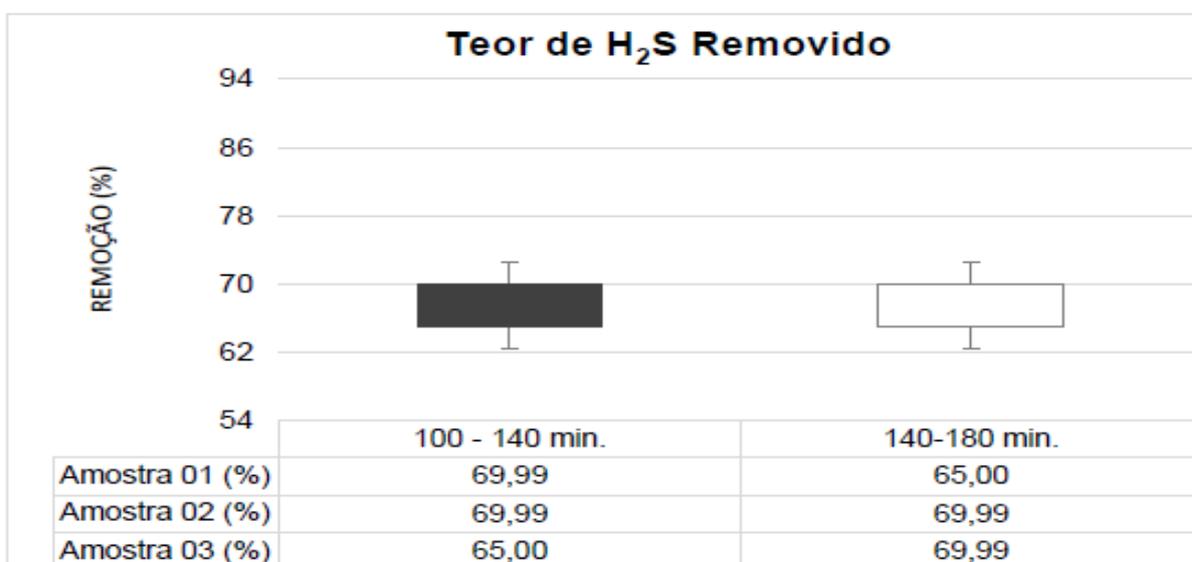


Figura 3 – Taxa de remoção do H_2S para vazão de entrada de água $Q = 0,0015 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$



Foi constatado um menor teor de sulfeto por meio dos métodos de determinação deste contaminante. Tal fato pode ser atribuído ao tempo de contato entre o ar e a água, tendo em vista que a pressão e temperatura se mantiveram constantes. Esperava-se que o teor de sulfeto encontrado fosse inferior a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, o que não ocorreu mesmo quando se aumentou o tempo de contato por meio da redução da vazão de entrada de água contaminada no sistema. Deve ser considerado que houve melhora na eficiência do protótipo com essa redução na vazão de água. No entanto, verificou-se que as concentrações das amostras nos pontos analisados após a redução de vazão apresentaram comportamento semelhante.

É importante observar que é a quantidade dessorvida não é alta. Isso decorre da baixa concentração do soluto, teor de sulfeto, na água contaminada. A solução muito diluída dificulta o transporte de massa (McGUIRE *et al.*, 1981). Destaca-se também que, após o processo, a água, não apresentava odor característico do sulfeto de hidrogênio, porém, mesmo após o tratamento, a cor continuou igual.

Castañeda (2010), por meio da torre de dessorção operando a uma vazão de alimentação de água contaminada de $0,24 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, em todos os casos avaliados, obteve eficiência de 100% para remoção do sulfeto para valores de concentração

inicial na faixa de $0,03$ a $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ para águas superficiais. Zat (2009), pelo mesmo método, obteve remoção na faixa entre 43% e 50%, para concentrações iniciais de $0,030 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$. Ambas as autoras realizaram o método de dessorção para águas superficiais advindas de um pré-tratamento convencional. Nesses casos, comparando-se com a água subterrânea, pode-se ponderar o fato de essa água ser superficial e, por essa razão, ter sido beneficiada por diversos fatores que favoreceram a remoção do sulfeto porventura existente.

As faixas de remoção do contaminante para os dois últimos intervalos apontam o máximo de contaminantes que o protótipo consegue remover na vazão em que o sistema opera: $60,842 \pm 1,859\%$. Em relação às análises da água com a vazão de alimentação do sistema reduzida, nota-se que a taxa de remoção apresenta caráter linear, com eficiência de $68,326 \pm 2,352\%$, que foram as quantidades máximas removidas das amostras, o que comprova a afirmação McGuire e colaboradores (1981) mencionada anteriormente.

4.3 Caracterização da água do poço antes e após o tratamento

A tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros investigados para a água do poço antes de ser submetida ao tratamento.

Tabela 1 – Caracterização da água do poço antes do tratamento

| Amostra | pH | Temperatura (°C) | Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹) | Salinidade (ppm) | Condutividade (µs cm ⁻¹) |
|---------|-----|------------------|-------------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| 01 | 4,9 | 26,2 | 4,10 | 0,03 | 71 |
| 02 | 4,6 | 26,4 | 3,62 | 0,03 | 70 |
| 03 | 4,8 | 26,3 | 3,80 | 0,03 | 72 |
| 04 | 4,9 | 26,2 | 3,93 | 0,03 | 71 |

Os valores referentes ao parâmetro pH encontrados apontam que a água do poço possui caráter ácido (Figura 4) em uma faixa que permite o desenvolvimento de bactérias anaeróbias, dentre elas as bactérias redutoras de sulfatos (BRS), que, segundo os estudos de Almeida (2005), requerem ambientes específicos, anaeróbios e com pH acima de 5,5. Entretanto, em alguns casos, como afirma o mesmo autor, em reservatórios de água com o pH por volta de 3, foi observada a atividade biológica com a presença de

BRS. Essas bactérias são responsáveis pela produção de H_2S e, diante dessa condição, é possível inferir que a água possui um pH propício para a produção do sulfeto de hidrogênio.

A temperatura da água (Figura 5) é outro fator a ser ponderado, pois exerce influência direta nos demais fatores tais como solubilidade e oxigênio dissolvido. Uma redução no oxigênio dissolvido (OD) da água pode ocorrer com o aumento da temperatura. O teor de OD (Figura 6) inviabiliza a existência de organismos aeróbios, tendo em vista

que estes não resistem a concentrações menores que 4,0 mg.L⁻¹ (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

O valor de salinidade, que se manteve constante (Figura 7) e apresentou um teor relativamente baixo, contribui para explicar os valores de condutividade. A condutividade da água do poço depende da quantidade de íons (compostos aniônicos e catiônicos) dissolvidos por unidade de volume e representa o fluxo de

corrente elétrica na água. Dessa forma, medir a condutividade elétrica de uma amostra é quantificar um grande número de compostos nela contido, os quais, em solução, permitem a passagem da eletricidade. Contudo, materiais orgânicos são capazes de conduzir eletricidade caracterizando-se como interferentes à condução de corrente elétrica, reduzindo de forma brusca a condutividade (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

Figura 4 – Valores médios de pH em pontos de análises e por intervalos de tempo, antes e depois do tratamento

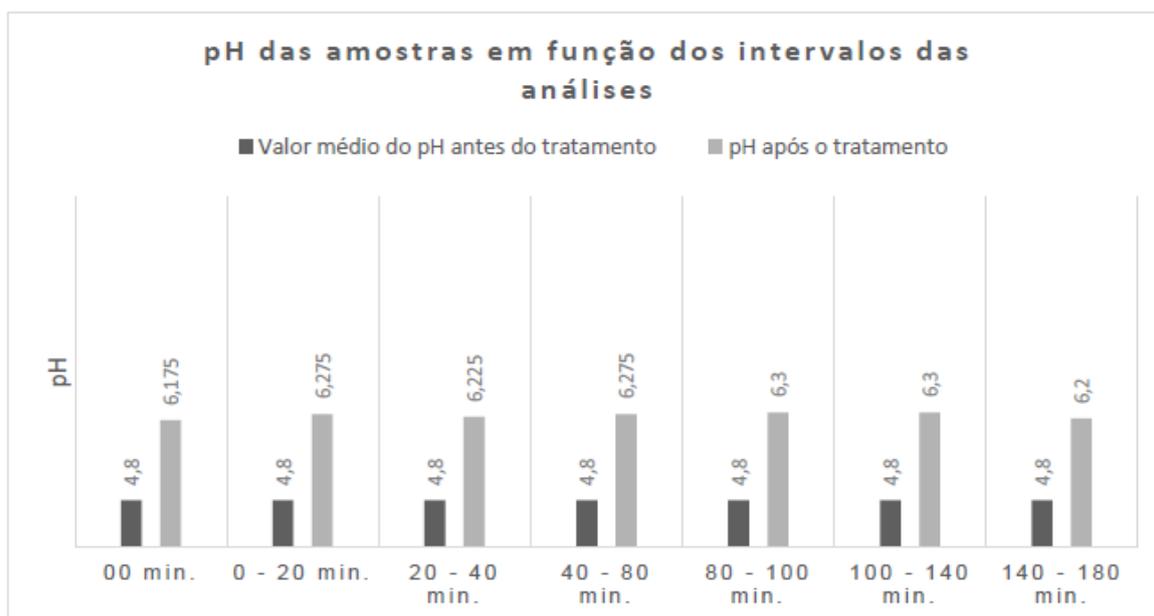


Figura 5 – Valores médios de temperatura em pontos de análises e por intervalos de tempo, antes e depois do tratamento

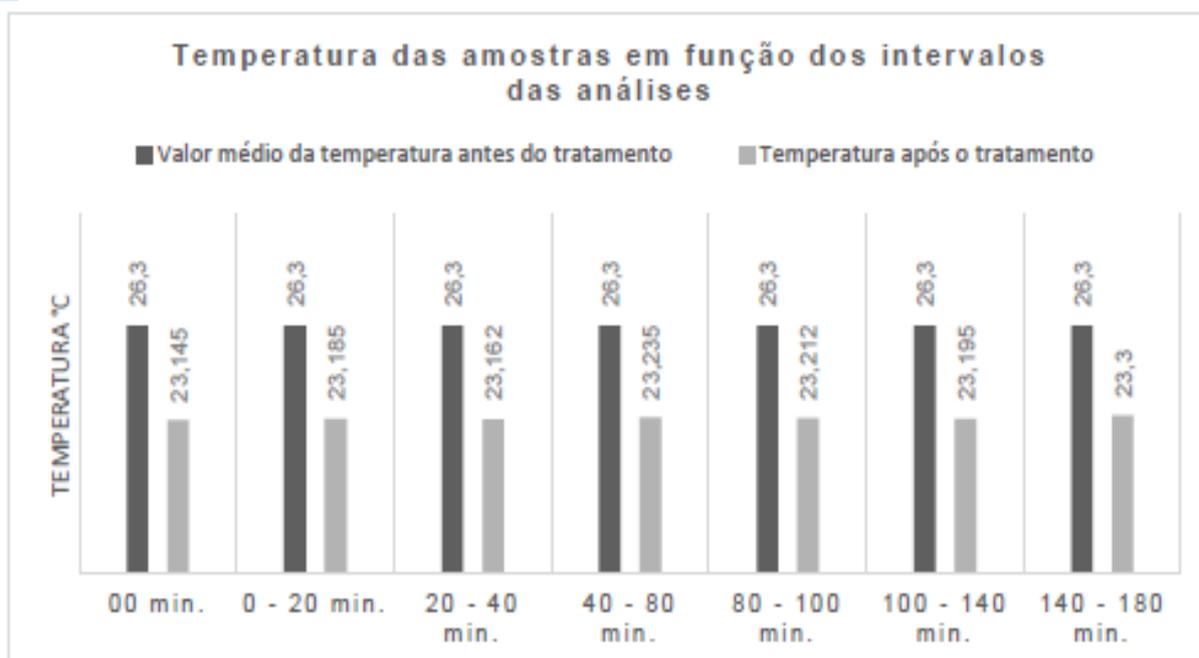


Figura 6 – Valores médios de teor de oxigênio dissolvido em pontos de análises e por intervalos de tempo, antes e depois do tratamento

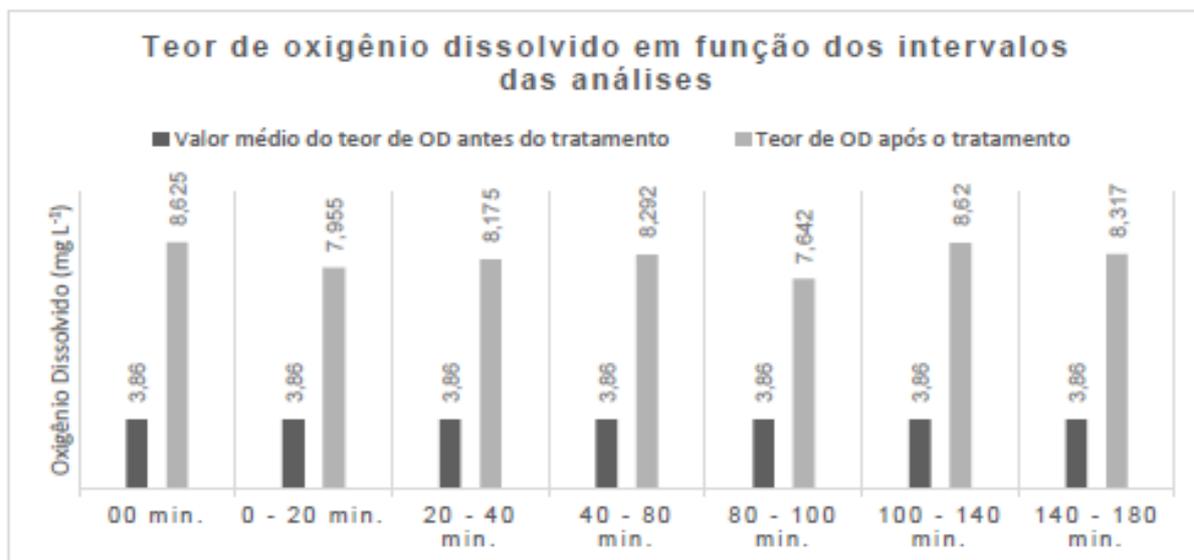
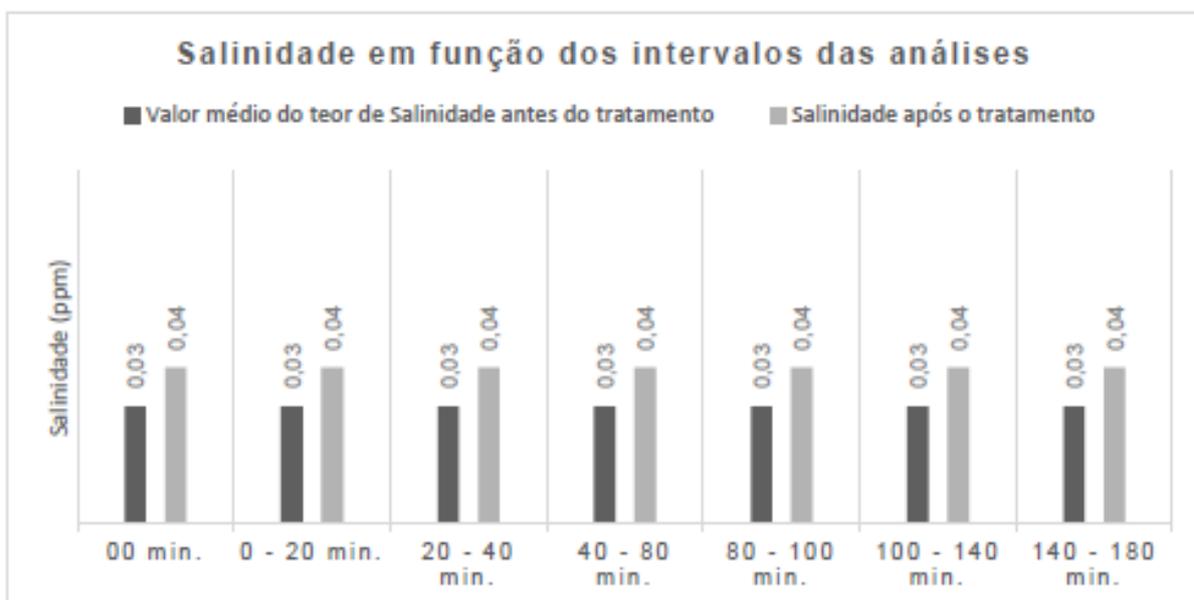


Figura 7 – Valores médios da salinidade em diferentes pontos de análises e por intervalos de tempo, antes e depois do tratamento



Após o tratamento da água do poço, pôde-se constatar que o sistema de dessorção gasosa montado, além de remover o sulfeto de hidrogênio (Figuras 8 e 9), também foi capaz de efetuar algumas alterações nos parâmetros físico-químicos da água estudada. O pH da água resultante do processo apresentou valores dentro da faixa de conformidade com o padrão organoléptico de potabilidade, que é entre 6,0 e 9,5

(BRASIL, 2010).

Tanto a condutividade quanto a salinidade não tiveram alterações acintosas, tendo em vista que a variação da condutividade se deu em função do aumento em 0,01 ppm de íons dissolvidos na água. Segundo Brasil (2005), o valor da condutividade encontrado encontra-se dentro do intervalo considerado próprio para a água potável.

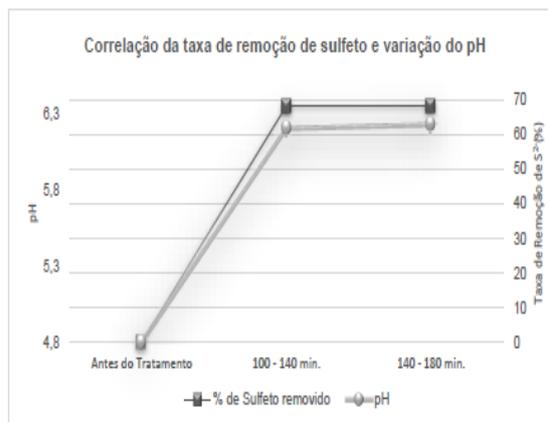
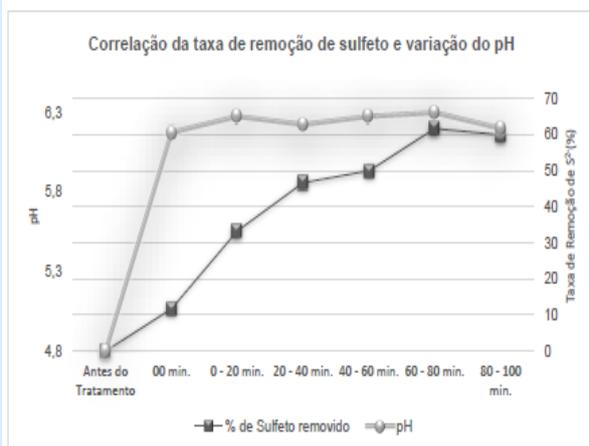
Nota-se que, nas amostras analisadas, as

medidas apresentaram variações em seus diferentes intervalos. No entanto, não apresentaram grandes disparidades. Os resultados observados em relação ao pH demonstram que o seu aumento favorece a formação da espécie iônica HS⁻, um ligante aniônico mole, e o aparecimento de complexos com metais que possam estar dissolvidos na água. Existe ainda a possibilidade de formação de *tióis* se esses ligantes aniônicos se unirem a grupos orgânicos. O aumento de pH, portanto, desfavorece a formação do H₂S dissolvido na

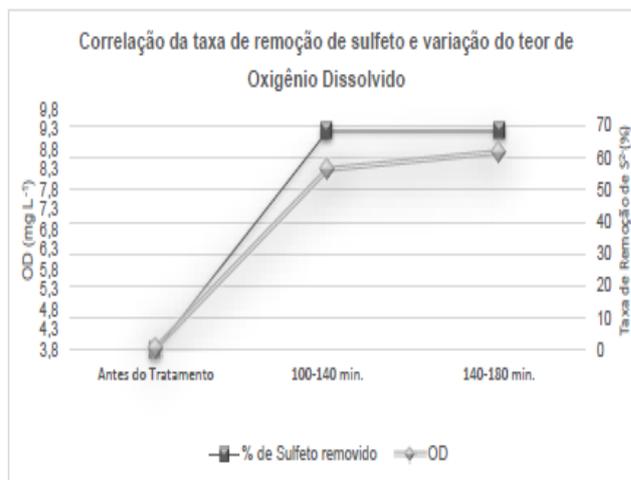
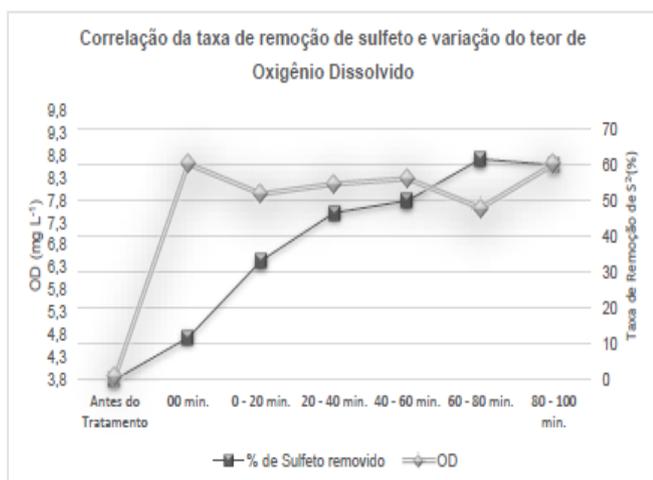
água, conforme já foi relatado por Peruzzini, De Los Rios e Romerosa (2001).

Por ser um método em que a água entra em contato direto com o ar, impulsionado por um compressor de ar, era esperado que os valores de OD (Figuras 10 e 11) aumentassem e a temperatura diminuísse. Os valores de ambos à pressão de 760 mmHg (1 atm) estão em conformidade com o cálculo empírico de Pöpel e Qasim para as condições de temperatura e pressão sob as quais os experimentos foram realizados (CPRM, 2007).

Figuras 8 e 9 – Correlação da taxa de remoção de sulfeto e variação do pH na vazão de 0,0030 m³ h⁻¹ e de 0,0015 m³ h⁻¹ por minuto, antes do tratamento



Figuras 10 e 11 – Correlação da taxa de remoção de sulfeto e variação OD na vazão de 0,0030 e de 0,0015 m³ h⁻¹, por minuto, antes do tratamento



Nas figuras apresentadas anteriormente, percebe-se a semelhança no comportamento de ambos os parâmetros mesmo quando as vazões foram diferentes. O mesmo comportamento ocorreu ao se correlacionar a variação de OD com a remoção de sulfeto nas mesmas vazões em que os parâmetros antes mencionados foram mensurados. O aumento do teor de OD favorece a formação de sulfatos a partir dos íons sulfetos. Pode-se, portanto, afirmar que este é um dos parâmetros que determina outro mecanismo de remoção do sulfeto através da torre de dessorção gasosa: a oxidação dos íons sulfetos. Contudo, não se pode desconsiderar a influência que possíveis interferentes tenham exercido, tanto na remoção do sulfeto de hidrogênio, quanto na determinação de outros parâmetros de qualidade da água.

CONCLUSÃO

Através das análises, foi possível observar que a água do poço do IFBA possui sulfeto. A concentração encontrada foi $0,3206 \text{ mg}^3 \text{ L}^{-1}$, o que indica um teor acima do limite máximo permitido pela legislação brasileira.

O modelo piloto da torre de dessorção apresentou eficiência máxima de $60,842 \pm 1,859\%$ para a remoção do sulfeto de hidrogênio a uma vazão de alimentação constante de água de $0,0030 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, e eficiência de $68,326 \pm 2,352\%$ para vazão de $0,0015 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Quanto aos aspectos físico-químicos de qualidade da água potável, observa-se que o equipamento provocou o aumento no seu pH, antes ácido, fazendo com que esse valor ficasse dentro da faixa de pH compatível com a legislação vigente. Isso também aconteceu em relação ao teor de oxigênio dissolvido e à temperatura. Já a salinidade e a condutividade não sofreram alterações consideráveis. Com isso, pôde-se constatar que, por meio da torre piloto, ocorreu o processo físico para a remoção do sulfeto pelo mecanismo da dessorção e que também ocorreu um mecanismo químico, o da oxidação dos íons sulfetos, que foram convertidos em sulfatos. Desse modo, através dos resultados obtidos, entende-se que o processo de dessorção pode ser utilizado para a remoção de sulfeto de hidrogênio e que a torre piloto do IFBA – Porto Seguro contribuiu de maneira eficiente para essa remoção.

Observou-se também a possibilidade de se alcançar, em trabalhos futuros, melhorias e

mudanças no processo, tais como: variação no tipo de recheio e na altura da torre, vazão de entrada da água e do ar, na possibilidade de a água passar por filtros antes de entrar no equipamento, para se obter uma possível melhora na eficiência desse equipamento.

Por fim, espera-se que este trabalho possa ser utilizado em grande escala, contribuindo para novas investigações voltadas para melhoria em métodos que viabilizem a utilização de águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Indicadores de Qualidade** - Índice de Qualidade das Águas (IQA), 2004. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-aguas.aspx#_ftn3>. Acesso em: 23 jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Portaria ANP nº 104, de 08 de julho de 2002. Estabelece a especificação do gás natural, de origem nacional ou importador, a ser comercializado em todo território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 09 jul. 2002.

ALMEIDA, S. K. **Deteção de bactérias redutoras de sulfato em efluente e sedimento de mina de urânio**. 2005. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2005.

ANDRIETTI, G. *et al.* Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, vol. 11, n. 1, jan./mar. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9896**: Poluição das águas: Terminologia. Rio de Janeiro, 1993.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Public Health Service. Department of Health and Human Services. **Managing hazardous materials incidents**. vol. 3. Medical Management Guidelines for Acute Chemical Exposures: hydrogen sulfide. Atlanta, GA, 1999.

BERTOLO, R. A.; HIRATA, R.; ALY JUNIOR, O. Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 303-313, 2019.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall,

2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 518/2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 28 p. (Série E. Legislação em Saúde)

BRASIL. **Orientações para execução de obras e serviços de engenharia pela Funasa**: Manual técnico. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 186 p.

BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 22 jun. 2010. p. 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 14 dez. 2011.

CALIJURI, M. L. *et al.* Evaluation of the influence of natural and anthropogenic processes on water quality in karstic region. **Water, Air & Soil Pollution**, Viçosa, v. 223, n. 5, p. 2157-2168, 2012.

CAMPOS, D. A. G. *et al.* Avaliação da Qualidade da Água Destinada ao Consumo Humano em Instituição de Ensino. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 15, n. 1, p. 289-298, jan./jul. 2017.

CASTAÑEDA, D. **Remoção de sulfeto de hidrogênio, ferro e manganês de águas de abastecimento através do processo de dessorção gasosa, nano-filtração e oxidação com permanganato de potássio**. 2010. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

CASTAÑEDA, D.; PASSOS, K.; BENETTI, A. Remoção de sulfeto de hidrogênio, ferro e manganês de águas de abastecimento por aeração e dessorção por ar. **Revista DAE**, São Paulo, n. 188, 2012.

COSTIGAN M. G. Hydrogen sulfide: UK occupational exposure limits. **Occupational Environmental Medicine**, Porto Alegre, v. 60, p. 308-312, 2003.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Manual Medição in loco**: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido. Belo Horizonte, 2007.

DAS, M. *et al.* Evaluation of drinking quality of groundwater through multivariate techniques in urban area. **Environmental Monitoring and Assessment**, Holden, v. 166, n. 1-4, p. 149-157, 2010.

EDWARDS, S.; ALHARTHI, R.; GHALY, A. Removal of Hydrogen Sulphide from Water. **American Journal of Environmental Sciences**, Dubai, vol. 7, n. 4, p. 295-305, 2011. Science Publications.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de Procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo, PR: Embrapa, 2011.

GOMIDE, R. **Operações unitárias**: operações de transferência de massa. 1. ed. São Paulo: Dag Gráfica e Editora Ltda., 1988. vol. 4.

GONÇALVES, M. V. P. *et al.* Geoquímica e qualidade da água subterrânea no município de Serra do Ramalho, Bahia (BR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 159-172, 2018.

GROTT, S. L. *et al.* Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 645-654, 2018.

HIRATA, R.; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. In: BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Org.) **Águas do Brasil: análises estratégicas**. 1 ed. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. vol. 1 p. 149-164.

HUNTINGTON, T. G. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. **Journal of Hydrology**, Kentucky, v.15, p.1-4, 2006.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA (IFBA). Processo nº 23.282.000.337/2011-DV: Contratação de Empresa Especializada em Construção de Poço Artesiano Tubular, com alimentação e sistema hidráulico, com fornecimento de materiais, no Campus Porto Seguro do IFBA. Porto Seguro, 2011.

JEONG, C. H. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. **Journal of Hydrology**, Connecticut, v. 253, p. 194-210, 2001.

LENZI, E.; FAVERO, L.; LUCHESE, E. **Introdução à Química da Água**: Ciência, vida e sobrevivência. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LI, R.; MERCHANT, J. W. Modeling vulnerability of groundwater to pollution under future scenarios of climate change and biofuels-related land use change: a case study in North Dakota, USA. **Science of the Total Environment**, South Korea, v. 447, p. 32-45, 2013.

LIU, L. *et al.* Global, regional, and national causes of child mortality: an updated systematic analysis for 2010 with time trends since 2000. **The Lancet**, v. 379, n. 9832, p. 2151-2161, 2012.

MAINIER, F.; ROCHA, A. H₂S: novas rotas de remoção química e recuperação de enxofre. CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS, 2., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UERJ, 2003.

McGUIRE, M. J. *et al.* Closed-loop stripping analysis as a tool for solving taste and odor problems. **Journal of the American Water Works Association**, California, v. 73, n. 10, p. 530-7, 1981.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, 2014.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Perguntas e Respostas sobre a Portaria MS Nº 2.914/2011**. Brasília, DF, 2012.

OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, Washington, v. 313, p. 1068-1072, 2006.

PERUZZINI, M.; DE LOS RIOS, I.; ROMEROSA, A. Coordination Chemistry of transition metals with hydrogen chalcogenide and hydrogen chalcogenide ligands. **Progress in Inorganic Chemistry**, Baltimore, v. 49, p. 169-543, 2001.

ROITMAN, V. **Curso de formação de operadores de refinaria**: operações unitárias. Curitiba: Petrobras: UnicenP, 2002. Disponível em: <http://www.dequi.eel.usp.br/~felix/OU_Petrobras.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

SILVA, D. D. *et al.* Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 43-52, 2014.

TACLA, R. M. **Aproveitamento de resíduos industriais para a biofiltração do sulfeto de hidrogênio**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Engenharia Química, UFPR, Curitiba, PR, 2004.

WHITE, P.; RUBLE, C. L.; LANE, M. E. The effect of changes in land use on nitrate concentration in water supply wells in southern Chester County, Pennsylvania. **Environmental Monitoring and Assessment**, Maine, v. 185, n. 1, p. 643-651, 2013.

ZAT, M. **Remoção de compostos odoríferos de águas de abastecimento através de processos de aeração, dessorção gasosa e nanofiltração**. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

ZAT, M.; BENETTI, A. D. Remoção dos compostos odoríferos geosmina e 2-metilisoborneol de águas de abastecimento através de processos de aeração em cascata, dessorção por ar e nanofiltração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p. 353-360, 2011.