



EDUCAÇÃO CIÊNCIA E SAÚDE
<http://dx.doi.org/10.20438/ecs.v5i1.152>

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA ANALÍTICA UTILIZANDO PENEIRAS MOLECULARES PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS DO MUNICÍPIO DE PEDRA LAVRADA-PB

Fábia Rafaella Silva Alves¹, Denise Domingos da Silva³
Arielly Samara Santos Batista¹, Wedja Marcelino da Silva¹, Vilma Araújo
Costa²,

¹ Curso de Bacharelado em Farmácia, Unidade Acadêmica de Saúde, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Química – IQ-UFRN, Natal-RN, Brasil

³ Prof^a Unidade Acadêmica de Biologia e Química, Universidade Federal de Campina Grande, UABQ/CES - Cuité, PB, Brasil.

Email para correspondência: fabia.rafaella@hotmail.com

Resumo

Tendo em vista a crescente utilização de águas subterrâneas para suprimento hídrico, a forma improvisada e não controlada do uso dessas águas torna-se importante a realização de estudos relacionados a este tipo de matriz. Avaliou-se a utilização de peneiras moleculares do tipo zeólita A como adsorvente de metais em águas subterrâneas do município de Pedra Lavrada-PB, realizando a caracterização prévia dessas águas para averiguar a qualidade das mesmas e a necessidade de tratamento, visto que as características físico-químicas podem gerar efeitos negativos para a população. Foram selecionados poços do município, sendo dois deles de dessalinizadores. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Biocombustíveis e Química Ambiental, no Centro de Educação e Saúde, da Universidade Federal de Campina Grande - Campus Cuité. Foram analisados os parâmetros de pH, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza e cloretos. As análises realizadas para os três poços revelaram que todas as amostras apresentaram concordância com os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde, com exceção do parâmetro de dureza, para o qual todas as amostras foram caracterizadas como “muito duras”. Tendo em vista os resultados discordantes, realizou-se o tratamento com a zeólita. Após a adsorção, os valores obtidos anteriormente apresentaram uma diminuição significativa, indicando que esse adsorvente é interessante para este tipo de matriz.

Palavras-chave: análises físico-químicas, águas subterrâneas, zeólita A.

Abstract

Considering the increasing use of groundwater for water supply, the improvised and uncontrolled use of these waters makes it important to carry out studies related to this type of matrix. The use of molecular sieves of zeolite type A as adsorbent of metals in groundwater of the city of Pedra Lavrada-PB was carried out, performing the previous characterization of these waters to ascertain their quality and the need for treatment, since the physical characteristics can have negative effects on the population. Wells were selected from the municipality, two of them being desalinators. The experiments were carried out in the Laboratory of Biofuels and Environmental Chemistry, at the Center for Education and Health, Federal University of Campina Grande - Campus Cuité. The parameters of pH, turbidity, electrical conductivity, alkalinity, hardness and chlorides were analyzed. The analyzes performed for the three wells showed that all the samples showed compliance with the standards established by the Ministry of Health, except for the hardness parameter, for which all samples were characterized as "very hard". In view of the discordant results, the treatment with the zeolite was carried out. After adsorption, the values obtained previously showed a significant decrease, indicating that this adsorbent is interesting for this type of matrix.

Keywords: physical-chemical analysis, underground waters, zeolite A.

1 Introdução

A água é um recurso natural essencial à toda forma de vida na Terra (MACEDO, 2007). É uma das substâncias mais simples, porém a mais importante, pois participa de todas as reações que ocorrem no organismo; proteínas, enzimas, membranas, mitocôndrias e hormônios operam somente na presença desta matriz (QMCWEB, 2004). Além disso, a utilização industrial, agropecuária, a preservação aquática e os fins recreativos, tornam-na um bem necessário ao desenvolvimento da sociedade como um todo (VENDEMIATTI, 2003).

Partes limitadas do mundo possuem quantidades suficientes de água doce; apenas 0,1% está disponível em rios e lagos. Outros três quartos estão presos em geleiras e calotas polares e a maior parte da água do mundo, correspondente a 97%, pertence aos oceanos e mares, tornando-se indisponível para consumo (BAIRD; CANN, 2011; QUIST-JENSEN; MACEDONIO; DRIOLI, 2015). De acordo com Palma et al. (2016), é estimado que 50% da população mundial viva em regiões estressadas pela água em 2025.

A falta de políticas de gerenciamento dos recursos hídricos, acompanhada do descaso ambiental permitiu o surgimento de desordens de uso da água, assim como a degradação dos mananciais (ZOBY; MATOS,

2002). A ANA (2015) destaca uma situação extremamente crítica no semiárido brasileiro no triênio 2012 a 2014. Foram observadas secas com tempos médios de recorrência superiores há cem anos e chuvas abaixo da média. Ademais, o nível dos reservatórios no Nordeste caiu de 61,7% em maio de 2012 para 25,3% em março de 2015.

No estado da Paraíba não é diferente. Segundo Costa (2003), a persistência das médias pluviométricas mais baixas de todo o semiárido nordestino e a maior irregularidade temporal, mais precisamente nas microrregiões dos Cariris, Curimataú e do Seridó, com médias anuais inferiores a 300 mm, fazem do semiárido paraibano o lugar mais susceptível às secas.

Inserido no âmbito de semiárido, na microrregião do Seridó Oriental, encontra-se o município de Pedra Lavrada, o qual possui uma população de 8.053 (oito mil e cinquenta e três) habitantes, estimada em 2016, área territorial de 351,680 km² e densidade demográfica de 21,26 hab/km², conforme o IBGE (2010). De acordo com Souza (2013), pedra-lavradenses também enfrentam problemas ocasionados por longos períodos de estiagem que afetam a região, o que os leva a buscar métodos alternativos para dispor de uma fonte de água.

No Brasil, especialmente no Nordeste, as águas subterrâneas são fundamentais no suprimento hídrico de rios e lagos durante os períodos de estio (SILVA; ARAÚJO; SOUZA, 2007). No entanto, a adversidade está no desconhecimento dessas águas e na forma improvisada e não controlada do uso dessas, que pode resultar na poluição da fonte com substâncias químicas, metais pesados, nitratos, bactérias e vírus, ocasionando riscos à saúde da população (PACHECO; REBOUÇAS, 1982 *apud* REBOUÇAS, 2002; MILLER; ZAPOROZEC, 2000).

A Norma de Qualidade da Água para consumo Humano, aprovada na portaria nº 1.469 de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde, define os Valores Máximos Permissíveis (VMP) para as características bacteriológicas, organolépticas, físicas e químicas da água potável (BRASIL, 2000).

Tendo em vista que as características físico-químicas das águas podem ocasionar efeitos negativos para a população, se faz importante a avaliação desses parâmetros, como também é determinante desenvolver e testar

tecnologias que possam ser integradas de forma simplificada para o tratamento das matrizes fora dos padrões de potabilidade (PALMA et al., 2016). Os adsorventes mais utilizados em escala industrial são o carvão ativado, a sílica-gel, a alumina ativada, as peneiras moleculares, entre outros. Métodos alternativos vêm sendo estudados devido ao elevado valor de alguns adsorventes (SANTOS; ALSINA; SILVA, 2007).

As peneiras moleculares são sólidos com porosidade definida e com capacidade de distinção de moléculas por suas dimensões e geometrias, podendo ser utilizadas como adsorventes (MASCARENHAS; OLIVEIRA; PASTORE, 2001). Dentre elas, destacam-se as zeólitas.

As zeólitas são aluminossilicatos com estrutura cristalina, podendo ser naturais ou sintéticos apresentando características comuns. Estes materiais são estruturados por combinações tridimensionais de tetraedros T(O₄) comumente de SiO₄ e AlO₄, como mostra a Figura 1.

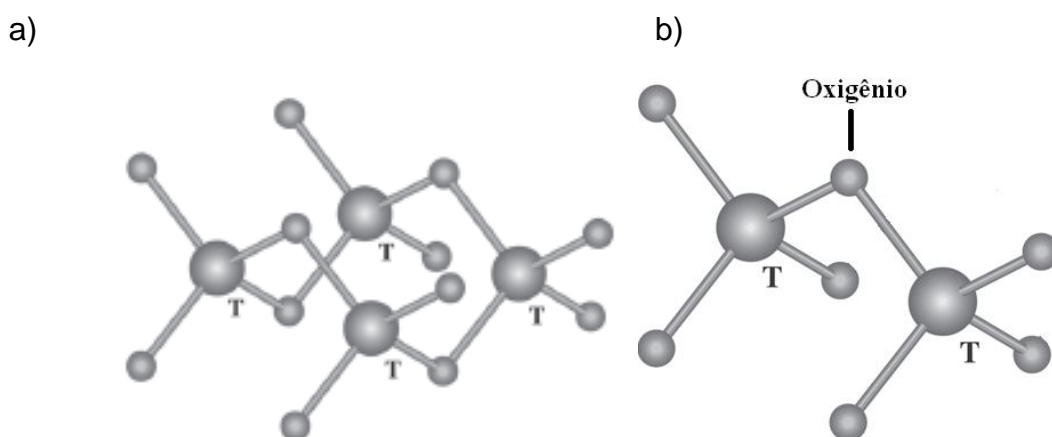


Figura 1: (a) Rede tridimensional (4:2) conectada. (b) Unidade de construção primária de uma zeólita SiO₄ e AlO₄ - Os átomos de oxigênio situam-se nas arestas, entre os dois átomos T (Si, Al) de cada vértice.

Fonte adaptado de: (BRAGA; MORGON, 2007).

As zeólitas são utilizadas em larga aplicação industrial devido às suas propriedades físicas e químicas, as quais favorecem sua utilização como peneiras moleculares, trocadores iônicos, catalisadores e adsorventes (BRECK, 1984). Elas podem ser naturais ou sintéticas e apresentam alta capacidade de adsorção, tamanho de canais e cavidades uniformes e seletividade. As diferentes formas de organizar os átomos na formação de

canais lhes conferem diferentes tipos particulares. Dentre seus vários tipos, destaca-se a Zeólita A, que é utilizada em larga escala como trocador iônico para diminuir a dureza de águas domésticas e industriais. Esta capacidade de troca tem sido aproveitada também para utilizar essas zeólitas como suporte de fertilizantes, medicamentos e rejeitos radioativos (GIANNETTO; RENDÓN; FUENTES, 2000). Tais características fazem a zeólita A (adsorvente sintético) ser de grande importante na atualidade.

Atualmente o município de Pedra Lavrada-PB possui mais de uma centena de poços tubulares no cristalino, no entanto, as águas são classificadas como impróprias para consumo humano devido ao elevado conteúdo de sais (SOUZA, 2013).

O presente estudo teve por objetivo avaliar as propriedades físico-químicas da água de abastecimento do município de Pedra Lavrada-PB e empregar essas peneiras moleculares como metodologia, visando a melhoria da qualidade dessa água.

2 Metodologia

2.1 Amostragem e coleta das amostras

Foram encontrados 3 poços no município de Pedra Lavrada-PB, dos quais dois eram de dessalinizadores, não sendo informados outros dados como vazão ou tempo de atividade. Coletou-se amostras dos três locais, considerando todos os cuidados durante o procedimento de forma a evitar possíveis contaminações e erros nas análises futuras. As águas foram armazenadas em garrafas de politereftalato de etileno (PET) com capacidade de 1,5 L, previamente higienizadas, lavadas com a água em estudo, preenchidas e, posteriormente, mantidas em refrigeração até a análise. O quadro 1 apresenta informações acerca dos poços analisados:

Tabela 1: Localização e profundidade dos poços

Poços analisados	Localidade	Profundidade
1	Rua: Sizenando Paulino da Paixão	100 metros
2	Rua: Marina Alves Santos	65 metros
3	Rua: Felipe Neri	Não informada

Fonte: Dados da pesquisa

2.2 Determinação das propriedades físico-químicas

Após a coleta *in loco*, os experimentos foram realizados no Laboratório de Biocombustíveis e Química Ambiental, no Centro de Educação e Saúde, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Cuité. As determinações das variáveis foram realizadas seguindo a metodologia do *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999). Foram utilizados os valores médios das análises em triplicata.

2.2.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

A determinação das medidas de pH foi realizada com um peagâmetro pH 21 – Hanna, sendo o mesmo previamente calibrado com soluções tampão $4,00 \pm 0,01$ e $7,00 \pm 0,01$.

2.2.2 Turbidez

O parâmetro turbidez foi medido com um turbidímetro modelo TB1000, previamente calibrado com soluções padrões de 0,1 NTU, 0,8 NTU, 8 NTU, 80 NTU e 1000 NTU.

2.2.3 Condutividade elétrica

A característica da condutividade foi determinada utilizando um condutivímetro mCA-150/Mca-150P, sendo previamente calibrado com solução padrão de cloreto de potássio (KCl) $146,9 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 0,5\%$, com uma temperatura padronizada de 25°C .

2.2.4 Alcalinidade

Para realizar as medidas de alcalinidade foi utilizado o princípio da volumetria de neutralização, em que o titulante foi o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e alaranjado de metila a solução indicadora do ponto de viragem. (BRASIL, 2006).

2.2.5 Dureza total

Através do método de volumetria de complexação foi realizada a medida de dureza utilizando como indicador negro de eriocromo e EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) como agente titulante. (FUNASA, 2009).

2.2.6 Cloretos

Para a determinação do teor de cloreto foi utilizada a técnica de volumetria de precipitação, seguindo o método de Mohr. O agente titulante empregado foi o nitrato de prata (AgNO_3) e a solução indicadora foi o cromato de potássio (K_2CrO_4). (FUNASA, 2009).

2.3 Caracterização da Peneira Molecular – Zeólita A

A zeólita foi caracterizada pelas seguintes técnicas:

- *DRX*

Difração de raios-x (DRX), utilizando Difratômetro BRUKER-D2 Phaser, com detector Lynxeye, utilizando radiação de Cu, um passo de $0,02^\circ$, e um intervalo de varredura de 5 a 70° em unidades de 2θ .

- *Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*.

A Imagem da zeólita A foi obtida no (MEV-FEG), modelo Zeiss Auriga 40, operando em tensões de 4.00kV e magnitude 21.02 KX, numa distância de trabalho 5,3 mm

- *Espectroscopia de absorção no Infravermelho (IV)*

A análise foi realizada utilizando um feixe de infravermelho médio, com comprimento de onda variando entre 2,5 e 50 μm , fornecendo assim uma faixa de número de onda de 4000 a 500 cm^{-1} . O equipamento usado foi Spectrum 65 FT-IR spectrometer Perkin Elmer com um ATR acoplado.

- *Ensaio de adsorção com a Zeólita A*

A execução dos ensaios de adsorção utilizando estes materiais foram executados em batelada, submetendo a amostra aquosa e 0,100 g do adsorvente à constante agitação com 200 rpm em uma mesa agitadora, durante uma hora. Transcorrido o tempo, as suspensões foram filtradas e o líquido foi reservado para análise.

2.4 Análise Estatística

Após a obtenção dos resultados foram aplicados testes estatísticos para validação dos dados e da metodologia empregada na determinação das propriedades físico-químicas de águas do município de Pedra Lavada-PB. Foi

determinado o desvio padrão dos valores para indicar a diferença estatística entre os valores obtidos.

3 Resultados

3.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

A tabela 2 apresenta os valores médios de pH para os pontos analisados com os respectivos desvios padrão:

Tabela 2: Valores médios de pH para as amostras de água dos poços

Poços analisados	Valores médio de pH \pm S	VMP
1	7,78 \pm 0,05	6,0 a 9,5
2	7,85 \pm 0,04	
3	7,93 \pm 0,06	

Fonte: Dados da pesquisa

Uma característica geral dos poços, ainda que relativa, foi a basicidade. Os resultados encontrados na tabela 2 estão dentro da faixa de valores padrões estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que determina o intervalo de 6,0 a 9,5 como recomendado.

Nos estudos de Jimenez, Bosco e Carvalho (2004), o potencial hidrogeniônico teve influência no processo de troca iônica com zeólita para remoção de metais em efluentes aquosos, de forma que em soluções mais ácidas havia maior competição entre os íons H^+ e os metais de transição, dificultando a adsorção destes. Da mesma forma, o aumento do pH elevava a concentração de complexos, nos quais as moléculas de água eram substituídas por ligantes, como OH^- , o que dificultava a troca iônica. Entretanto, em valores de pH inferiores a 7, as espécies predominantes são os cátions metálicos não complexados.

Silva e Araújo (2003) encontraram que 82,8% das amostras de água subterrânea utilizada para consumo humano em duas áreas urbanas de Feira de Santana (BA) tiveram pH ácido, abaixo de 6,0, não atendendo ao recomendado. Segundo os autores, o percentual de amostras fora do padrão aumentava conforme o aumento da profundidade dos poços.

3.2 Turbidez

Para o parâmetro de turbidez, a água apresentou-se adequada de acordo com o VMP, conforme tabela 3:

Tabela 3: Valores médios de turbidez para as amostras de água dos poços

Poços analisados	Valores médios de turbidez (NTU)/S	VMP
1	0,35 ± 0,14	5,0 NTU
2	1,49 ± 0,59	
3	0,24 ± 0,36	

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo Scorsafava et al. (2010), este parâmetro, muitas vezes, pode estar relacionado com altas concentrações de ferro. Em suas pesquisas, foi observado que das 150 amostras que apresentaram ferro acima do VMP, 33 delas também apresentaram turbidez superior ao estabelecido pela legislação. Sperling (2005) expõe, além do ferro, o manganês e outros sólidos inorgânicos ou orgânicos como causas de interferência neste parâmetro, o que atribui um caráter estético indesejável à água. Com isso, podemos considerar que, de acordo com os dados obtidos na pesquisa, os poços em estudo não sofreram contaminação por outras fontes.

Os estudos de Araújo et al. (2007) também demonstraram que as exigências normativas estabelecidas pelo Ministério da Saúde (5,0 NTU) foram cumpridas, uma vez que a média para 83 poços localizados em diferentes litologias do estado do Ceará foi igual a 4. Segundo os autores, valores extremos são observados quando não há um bom funcionamento do pré-filtro de poços tubulares, proteção inadequada ou poluição.

Em outra pesquisa realizada com águas subterrâneas do município de Araruna-PB, este mesmo parâmetro mostrou-se consideravelmente antagônico. Neves et al. (2015), obtiveram os valores de 75,16 e 83,63 para dois poços da região, ambos com 20m de profundidade, aproximadamente.

3.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (MACEDO, 2007). A tabela 4, a seguir, apresenta os valores obtidos para esta medida:

Tabela 4: Valores médios de condutividade elétrica para as amostras de água dos poços

Poços analisados	Valores médios de condutividade/S	VMP
1	$7,19 \pm 0,1 \text{ mS.cm}^{-1}$	Não especificado
2	$0,32 \pm 0,007 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$	
3	$0,24 \pm 0,04 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$	

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo Libânio (2010), soluções nas quais se faz presente a maioria dos compostos inorgânicos: íons ferro, manganês, potássio, cloreto, sódio, cálcio e magnésio, apresentam condutividade elevada. Por outro lado, compostos orgânicos, que não se dissociam em soluções aquosas, reduzem a transmissão da corrente elétrica. O autor ressalta que o parâmetro em questão vincula tanto ao teor de salinidade, quanto à concentração de sólidos totais dissolvidos (STD). Ambos são importantes indicadores de intrusão de água salgada e/ou lançamento de efluentes que podem contaminar e comprometer a qualidade das águas dos mananciais.

Os valores correspondentes ao poço 1 apresentaram-se um pouco elevados, o que pode caracterizar maior concentração de sais dissolvidos na água ou alguma fonte de contaminação inserida ou circundante ao poço. Diferentemente das amostras dos poços 2 e 3, que apresentaram valores de condutividade mínimos, tendo em vista que são de dessalinizadores.

Também foram encontrados outros estudos de condutividade na literatura para análise de poços subterrâneos. Nascimento e Barbosa (2005) estudaram o padrão de qualidade das águas subterrâneas da bacia do Rio Lucaia, Salvador-BA, obtendo $424,0 \text{ }\mu\text{S/cm}$ como resultado para o parâmetro de condutividade, pressupondo-se uma menor concentração de sais ou ausência de contaminantes para essas águas.

Lima, França e Loiola (2014), realizaram estudos avaliando a condutividade elétrica de águas de 10 poços de Creteús-CE. Os resultados obtidos variaram entre 440 e $2960 \text{ }\mu\text{S/cm}$. Segundo os autores, as amostras que se enquadraram entre 250 e $750 \text{ }\mu\text{S/cm}$ são classificadas como de salinidade média e devem ser usadas com precaução em processos de irrigação. Entre 750 e $2.250 \text{ }\mu\text{S/cm}$, as amostras são classificadas com salinidade muito alta e só podem ser utilizadas na irrigação de culturas de

vegetais quando realizadas em solos bem drenados. Entre 2.250 e 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, os autores ressaltam que essas águas não servem para irrigação.

3.4 Cloretos

Geralmente, os cloretos estão presentes em águas brutas e tratadas em concentrações que podem variar de pequenos traços até centenas de mg/L . Estão presentes na forma de cloretos de sódio, cálcio e magnésio (FUNASA, 2013).

A tabela 5 apresenta os resultados atingidos para os níveis de cloreto:

Tabela 5: Valores médios de cloretos para as amostras de água dos poços

Poços analisados	Valores médios de cloretos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)/S	VMP
1	$2,1 \pm 0,33$	$250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$
2	$1,3 \pm 0,13$	
3	$2,4 \pm 0,18$	

Fonte: Dados da pesquisa

Os valores indicados na tabela 5 revelam que a água analisada compreende uma quantidade mínima de cloretos, uma vez que a média para poços artesianos é de $7,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (MACEDO, 2007). Dessa forma, considerando o estabelecido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (de 250 mg/L), os resultados apresentados são compatíveis com o exigido.

3.5 Alcalinidade total

A alcalinidade total de uma água é dada pelo somatório das concentrações de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, expressas em termos de carbonato de cálcio. (FUNASA, 2013). A tabela 6 apresenta os valores de alcalinidade total correspondentes à água em estudo:

Tabela 6: Valores médios de alcalinidade para as amostras de água dos poços

Poços analisados	Valores médios de alcalinidade ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)/S	VMP
1	$502 \pm 0,17$	Não especificado
2	$530 \pm 0,06$	
3	$496 \pm 0,26$	

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com Macedo (2007) as diversas formas de alcalinidade (hidróxido, carbonato e bicarbonato) têm relação com o pH da amostra. Assim, águas com faixas de pH maiores de 9,4 apresentam hidróxidos e carbonatos; faixas de pH com o intervalo de 8,3 a 9,4 apresentam carbonatos e bicarbonatos; e faixas de pH com o intervalo de 4,4 a 8,3 apresentam apenas bicarbonatos. Nessa conformidade, a água em estudo apresenta bicarbonatos como forma de alcalinidade.

A presença de bicarbonato em águas utilizadas para irrigação pode interferir no crescimento das plantas. Ainda, águas com predomínio de carbonato/bicarbonato podem levar à sodificação do solo, além de diminuir a concentração de cálcio e magnésio no solo devido a precipitação desses (GARG; GARG, 1980 *apud* MAIA; RODRIGUES; LACERDA, 2018).

A importância da quantificação da alcalinidade nas águas se dá devido a sua relação com o processo de coagulação com floculantes, que é uma das etapas do tratamento convencional da água, com a redução da dureza, a prevenção de incrustações e da corrosão de canalizações de ferro fundido (ROLOFF, 2006).

3.6 Dureza total

O cálculo da dureza total é representado pela soma das concentrações dos íons cálcio e magnésio presentes na água. A tabela 7, a seguir, apresenta os valores resultantes da análise deste parâmetro:

Tabela 7: Valores médios de dureza total para as amostras de água dos poços

Poços analisados	Valores médios de dureza total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃ /S)	VMP
1	1241 ± 1,25	500 mg.L ⁻¹
2	746 ± 0,19	
3	1080 ± 0,3	

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo Almeida et al. (2002), a dureza expressa em mg CaCO₃/L pode ser caracterizada em branda – até 50 de CaCO₃; baixa – entre 51 e 100 de CaCO₃; média – entre 101 e 150 de CaCO₃; Alta – entre 151 e 300 de CaCO₃; e muito alta – acima de 300 de CaCO₃.

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece o valor máximo permitido de 500 mg/L para dureza em águas. No entanto, todas as amostras analisadas excederam esse valor e as águas foram caracterizadas com dureza muito alta.

O mesmo padrão de dureza também foi encontrado por Dantas et al. (2015). Em seus estudos, a água de um poço artesiano do município de Baraúna-PB foi caracterizada como muito dura, com valor 641,88 mg/L de CaCO_3 , estando, da mesma forma, em desacordo com a portaria do Ministério da Saúde.

Tendo em vista os resultados em discordância aos padrões de potabilidade, realizou-se o tratamento com zeólita A. Após a adsorção os valores obtidos anteriormente reduziram de 1241 mg.L^{-1} para 926 mg.L^{-1} (Poço 1), de 746 mg.L^{-1} para 457 mg.L^{-1} (Poço 2) e de 1080 mg.L^{-1} para 626 mg.L^{-1} (Poço 3), obtendo, ao final, uma diminuição percentual de 25,4%, 38,7% e 42% para os poços 1, 2 e 3, respectivamente.

Após os ensaios de adsorção, observou-se que a maior porcentagem de adsorção se deu para os poços de menor dureza, os quais foram os poços 2 e 3, provenientes de dessalinizadores. Da mesma forma, vale ressaltar que dos poços analisados, o poço 2 enquadrou-se nos padrões de potabilidade após o tratamento com a zeólita, indicando a efetividade deste material.

Há também outros estudos disponíveis na literatura que empregam zeólitas para adsorção de metais em águas. Meng et al. (2017), confirmaram a efetividade da aplicação de zeólita A como adsorvente tanto para metais pesados (Pb^{2+} , Ag^+ , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+}) como para inócuos, como Mg^{2+} e Ca^{2+} , sendo mais efetiva para os metais pesados. Segundo os autores, essa tendência pode depender do tamanho atômico dos cátions, porém o emprego dessa metodologia é superior a outros adsorventes relatados na literatura.

Silva, Araújo e Souza (2007) evidenciam a importância do estudo da matriz iônica da água, o qual é essencial ao planejamento e à sustentabilidade das diversas atividades de consumo hídrico. Segundo Macedo (2007), o cálcio e o magnésio podem levar à formação de incrustações em tubulações; em

caldeiras, reduzem a transferência de calor, aceleram a corrosão e em função das incrustações provocam entupimentos, o que pode ocasionar explosão.

3.7 Caracterização da Zeólita A

3.7.1. DRX

A Figura 2 mostra o difratograma da Zeólita A comercial, que corresponde com as indicações padrões para este material (IZA – Internacional Zeolite Association). São características peculiares para este material, fortes intensidades em $2\theta = 7,1^\circ$; $10,1^\circ$; $12,4^\circ$; $16,1^\circ$; $21,6^\circ$; $23,9^\circ$; $27,1^\circ$ e $34,1^\circ$, conforme reflexões listadas na ficha JCPDS 39-0222 para silicato aluminato de sódio hidratado (zeólita A).

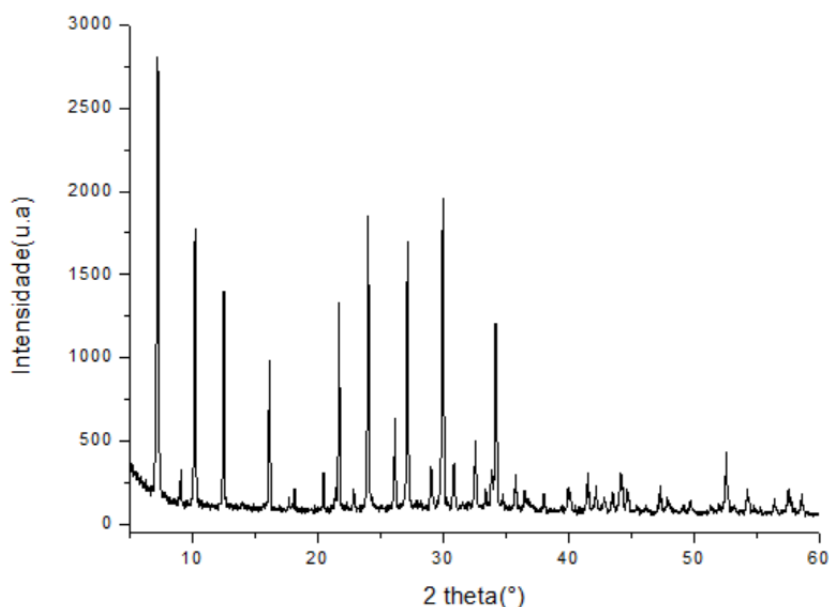


Figura 2: DRX da Zeólita A Comercial

3.7.2. Espectroscopia de Infravermelho (ATR-IV)

Os espectros de infravermelho para a zeólita A, antes e após a adsorção, podem ser observados na Figura 3, onde observa-se uma forte alteração na banda 1000 cm^{-1} , que se refere à banda característica da ligação Si-O-Al do tetraedro TO_4 (DEMORTIER *et al.*, 1999). Tal modificação indica, possivelmente, uma interação de constituintes presentes na referida amostra de água, como por exemplo Ca e Mg, com o grupo Si-O-Al, por meio de troca iônica.

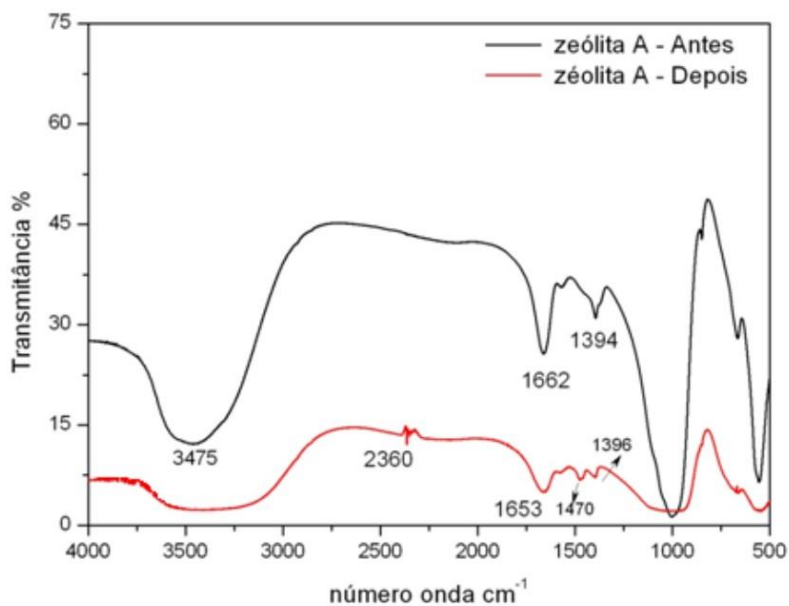


Figura 3: Espectros de Infravermelho da Zeólita A Comercial, antes e após processo de adsorção.

3.7.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 4 apresenta a micrografia da zeólita A comercial, revelando sua morfologia de cristais cúbicos, típicos de morfologia de zeólita A.

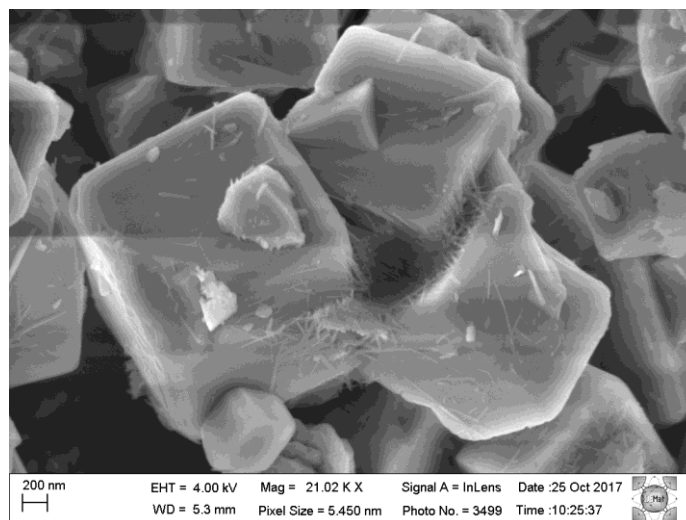


Figura 4: Micrografia eletrônica de Varredura da Zeólita A Comercial, magnitude 21.02 KX.

4 Conclusão

As análises realizadas para os três poços revelaram que todas as amostras apresentaram concordância com os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde, com exceção do parâmetro de dureza, para o qual todas as amostras foram caracterizadas como “muito duras”, necessitando de tratamento.

Os testes de adsorção com zeólitas aplicadas às matrizes com diferentes concentrações de dureza mostraram-se efetivos, uma vez que houve uma diminuição significativa da dureza total de todas as amostras: 25,4%, 38,7% e 42% para os poços 1, 2 e 3, respectivamente. Das amostras analisadas caracterizadas inicialmente como “muito duras”, após a adsorção, o poço 2 enquadrou-se no intervalo estabelecido pelo Ministério da Saúde, indicando que a zeólita A apresenta-se como uma alternativa efetiva no tratamento de águas dessa natureza. Isto implica dizer que a referida metodologia poderá ser utilizada para tratamento de águas, principalmente para as matrizes que tem como fim o uso da água para atividades primárias.

5 Referências

A. Demortier, N. Gobeltz, J. P. Lelieur, C. Duhayon, *Int. J. Inorg. Mater.* 1 (1999) 129.

ANA. Agência Nacional de Águas. 2015. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2016.

APHA. **Standard Methods of Examination of Water and Wastewater**, 20th Edition. American Public Health Association. 1999. ASA-BRASIL. **Articulação do Semiárido Brasileiro**. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br>. Acesso em 11 de junho de 2016.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BRAGA, A. A. C.; MORGON, N. H. **Descrições estruturais cristalinas de zeólitos**. *Química Nova*, v. 30, n. 1, p. 178-188, 2007.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914/2011, 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.** Brasília, SVS, 2011.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria n.º 1.469, de 29 de dezembro de 2000. **Anexo Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano.** Brasília, DF, 2000.

BRECK, D.W. **Zeolite Molecular Sieves.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1984.

COSTA, J. J. D. S., pobreza e desertificação na Paraíba. **Saeculum – Revista de História.** n. 8/9, jan./dez. 2003.

DANTAS, A. M. et al. Determinação da dureza de águas coletadas em reservatórios no município de Baraúna-PB: Açude e Poço Artesiano. **Blucher Chemistry Proceedings**, v. 3, n. 1 p. 1-8, nov. 2015.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual prático de análise de água.** 4. ed. Brasília: FUNASA, 2013.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **IBGE.** Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=251110>> Acesso em: 04 de fevereiro de 2017.

GIANNETTO, P. G.; RENDÓN A. M.; FUENTES, G. R. **Zeólitas: Características, propiedades y aplicaciones industriales.** Caracas: Edit, 2000.

JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M. D.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolécita: influência da

temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Quim. Nova**, v. 27, n. 5, p. 734-738, 2004.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações Hidroquímicas da Condutividade Elétrica e do Íon Cloreto na Qualidade das Águas Subterrâneas do Semiárido Cearense. **Revista virtual de química**. v. 6, n. 2, p. 279-292, 2014.

MACEDO, J. A. B. **Águas e Águas**. Minas Gerais: CRQ-MG, 2007.

MAIA, Celsemy E.; RODRIGUES, Kelly Kaliane RP; LACERDA, Viviane da S. Relação entre bicarbonato e cloreto em águas para fins de irrigação. **IRRIGA**, v. 1, n. 01, p. 206, 2018.

MASCARENHAS, A. J. S.; OLIVEIRA, E. C.; PASTORE, H. O. Peneiras Moleculares selecionando as moléculas por seu tamanho. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**, mai. 2001.

MILLER, J. C.; ZAPOROZEC, A. **Ground-Water Pollution**. Paris: UNESCO, 2000. p. 27. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

NASCIMENTO, S. A. M.; BARBOSA, J.. S. F. Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de Salvador, bacia do rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 4 p. 543-550, dez. 2005.

NEVES, Y. T. et al. Aplicabilidade da radiação solar no tratamento de águas subterrâneas do curimataú oriental paraíbano. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2., 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2015.

PALMA, P. et al. Membranes technology used in water treatment: Chemical, microbiological and ecotoxicological analysis. **Science of the Total Environment**, out. 2016.

QMCWEB. Água, o líquido vital. **Revista eletrônica do Departamento de Química – UFSC**, 2004. Disponível em: <<http://qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/agua.html>>. Acesso em: 4 fev. 2017.

QUIST-JENSEN, C. A.; MACEDONIO, F.; DRIOLI, E. Membrane technology for water production in agriculture: desalination and wastewater reuse. **Desalination**. v. 364, p. 17–32, mai. 2015.

REBOUÇAS, A. C. A política nacional de recursos hídricos e as águas subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**. n. 16, mai. 2002.

ROLOFF, A. T. Alcalinidade da água. **Sabios: Ver. Saúde e Biol.**, Campo Mourão, v.1, n.1, 2006. Disponível em: <<http://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios2/article/view/15/2>>. Acesso em: 4 fev. 2017.

SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H. Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos. **Química Nova**, v. 30, p. 327-331, 2007.

SCORSFAVA, M. A. et al. Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**. São Paulo, v. 69, n. 2, 2010.

SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará: poços instalados e salinidade. **Rev. Tecnol**, Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 136-159, 2007.

SOUZA, F. A. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 1., 2013, **Anais...** Campina Grande: 2013.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VENDEMIATTI, J. A. S. **Avaliação Físico-Química e Microbiológica da Água subterrânea em área irrigada com efluente de filtro anaeróbico**. Campinas, 2003.

ZOBY, J. L. G.; MATOS, B. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na política nacional de recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, **Anais...** São Paulo: 2002.

6 Agradecimentos

Ao CNPq/PROPEX/UFCG pela concessão de bolsa. Aos Laboratórios Bioambi-UABQ/CES/UFCG e Labpemol - UFRN pelo apoio e suporte para a realização dos experimentos.