



DOI: 10.33947/2595-6264-V5N1-4742

**UTILIZAÇÃO DE ZEÓLITA COMERCIAL PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES SINTÉTICO E NATURAL CONTAMINADOS, VISANDO REMOÇÃO DE ÍONS  $Ag^+$  E  $Mn^{2+}$ .****USE OF COMMERCIAL ZEOLITE FOR CONTAMINATED SYNTHETIC AND NATURAL EFFLUENTS TREATMENT, AIMING TO REMOVE  $Ag^+$  AND  $Mn^{2+}$ .**Pedro Henrique Leite Lustosa Henauth<sup>1</sup>, Ana Délia Santos da Silva<sup>2</sup>, Isaías Barbosa Soares<sup>3</sup>

Submetido em: 24/08/2021

Aprovado em: 22/09/2021

**RESUMO**

Devido ao crescimento das indústrias e da tecnologia desde a revolução industrial, ocorrida em meados do século XVIII, houve um enorme aumento na produção de resíduos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, gerando um problema em relação ao descarte incorreto dos efluentes. No Brasil, grandes quantidades de efluentes líquidos carregam em sua composição metais pesados que são produzidos e descartados diariamente sem nenhum tratamento apropriado, tornando-se um grande problema para os solos e para o meio ambiente em geral. Assim, torna-se necessário investir em alternativas de tratamento de efluentes líquidos para o correto descarte desses rejeitos. O objetivo do presente trabalho foi estudar a viabilidade do uso de zeólitas, que são rochas de formação natural, no tratamento de efluentes sintéticos, através do estudo do seu potencial de adsorção frente a metais pesados presentes em alguns tipos de efluentes contaminados. Para isso, foi criado um efluente sintético rico em íons prata ( $Ag^+$ ) e estudou-se sua adsorção em um tipo de zeólita comercial, bem como foi aplicado este mesmo tipo de material para estudar a adsorção de íons manganês ( $Mn^{2+}$ ) em um efluente natural proveniente de um manancial. Separadamente, os efluentes foram colocados em contato com a zeólita e submetidos à uma agitação de 120 rotações por minuto em um agitador magnético, a diferentes temperaturas (temperatura ambiente de 25°C e 70°C) durante 2 horas. Os resultados indicaram uma eficiência de remoção de íons  $Ag^+$  de 34,99% e 54,46% para as temperaturas ambiente e 70°C, respectivamente e, para os íons  $Mn^{2+}$ , de 40,00% e 81,31% para as mesmas respectivas temperaturas, mostrando que a zeólita comercial estudada possui uma eficiente capacidade de adsorção desses metais com potencial aplicação nas estações de tratamento de efluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorção. Zeólita. Metais pesados. Tratamento de efluentes. Contaminantes.**ABSTRACT**

*Due to the growth of industries and technology since the industrial revolution, which occurred in the mid-eighteenth century, there has been a huge increase in the production of waste, whether solid, liquid or gaseous, generating a problem in relation to the incorrect disposal of effluents. In Brazil, large amounts of liquid effluents carry in their composition heavy metals that are produced and discarded daily without any appropriate treatment, making it a major problem for soils and the environment in general. Thus, it is necessary to invest in alternatives for the treatment of liquid effluents for the correct disposal of these wastes. The objective of this work was to study the feasibility of using zeolites, which are natural-forming rocks, in the treatment of synthetic effluents, through the study of their adsorption potential against heavy metals present in some types of contaminated effluents. For this, a synthetic effluent rich in silver ions ( $Ag^+$ ) was created and its adsorption was studied in a type of commercial zeolite, as well as this same type of material was applied to study the adsorption of manganese ions ( $Mn^{2+}$ ) in a natural effluent from a wellspring.*

<sup>1</sup> Centro universitário Maurício de Nassau, pedro\_henauth\_@hotmail.com<sup>2</sup> Companhia Pernambucana de Saneamento, anadeliasantos@yahoo.com.br<sup>3</sup> Centro Universitário Maurício de Nassau, 010106418@prof.uninassau.edu.br



*Separately, the effluents were put in contact with the zeolite and subjected to a agitation of 120 rotations per minute in a magnetic stirrer, at different temperatures (ambient temperature and 70°C) for 2 hours. The results indicated an Ag<sup>+</sup> ion removal efficiency of 34.99% and 54.46% for ambient temperatures and 70°C, respectively, and for Mn<sup>2+</sup> ions of 40.00% and 81.31% for the respective temperatures, showing that the commercial zeolite studied has an efficient adsorption capacity of these metals with potential application in effluent treatment plants.*

**KEYWORDS:** Adsorption. Zeolite. Heavy metals. Effluent treatment. Contaminants.



## INTRODUÇÃO

Os efluentes produzidos por grande parte das indústrias mundiais, apresentam teores de substâncias nocivas ao meio ambiente, à saúde humana e dependendo da contaminação, podem até ser poluidoras do ar através de gases emitidos por matérias orgânicas ou poluidoras de rios. A produção de resíduos líquidos industriais surgiu e cresceu ao longo do tempo, tornando-se uma ameaça ambiental preocupante para os grandes polos industriais, que visam alternativas para o tratamento dos efluentes contaminados produzidos, e que, posteriormente podem ser reutilizados ou descartados corretamente após tratamento adequado (NEVES; MARIA, 2011; AMBRÓSIO et al., 2021). Esses resíduos líquidos, em grande parte, são constituídos por metais pesados, que são considerados substancialmente reativos e bioacumulativos, ocasionando problemas ambientais em altas concentrações. Alguns dos íons encontrados em efluentes líquidos são o Chumbo, Arsênio, Prata, Cádmiio, Manganês e outros potenciais contaminadores (DEZZOTI, 2008; MACENA, 2021).

Por outro lado, minerais denominados de zeólitas, que foram descobertos em 1756 pelo mineralogista sueco Axel Cronstedt e apresentados como materiais cristalinos microporosos em sua superfície sólida, insolúveis em água e constituídas naturalmente por oxigênio, alumínio, sílica e metais alcalinos ou alcalino-terrosos, podem apresentar um grande potencial de adsorção de componentes (íons) em sua estrutura sólida ao ser colocados em contato com os efluentes contaminados (FLANIGEN; JANSEN, 2001). As zeólitas são aluminossilicatos que possuem canais ou cavidades de dimensões moleculares que conferem ao material uma estrutura microporosa que permite o aprisionamento desses metais (FIALHO; VALDUGA; KAUTZMANN, 2018). Os metais pesados constituintes da composição dos resíduos líquidos tendem a ser adsorvidos na superfície das zeólitas, que por sua vez armazenam esses íons em sua estrutura, fazendo com que o percentual de impurezas presentes nos efluentes reduza e conseqüentemente possam ser reutilizados ou descartados de maneira correta sem prejuízos ao meio ambiente (FERRET, 2004).

Neste trabalho, um tipo de zeólita comercial foi utilizado para remover íons prata ( $\text{Ag}^+$ ) de um efluente sintetizado e íons manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ) de um efluente proveniente de um manancial. O objetivo do trabalho foi determinar a eficiência de remoção de cada um desses íons por adsorção em duas temperaturas diferentes, com o intuito de verificar o potencial dessa zeólita no tratamento desses efluentes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

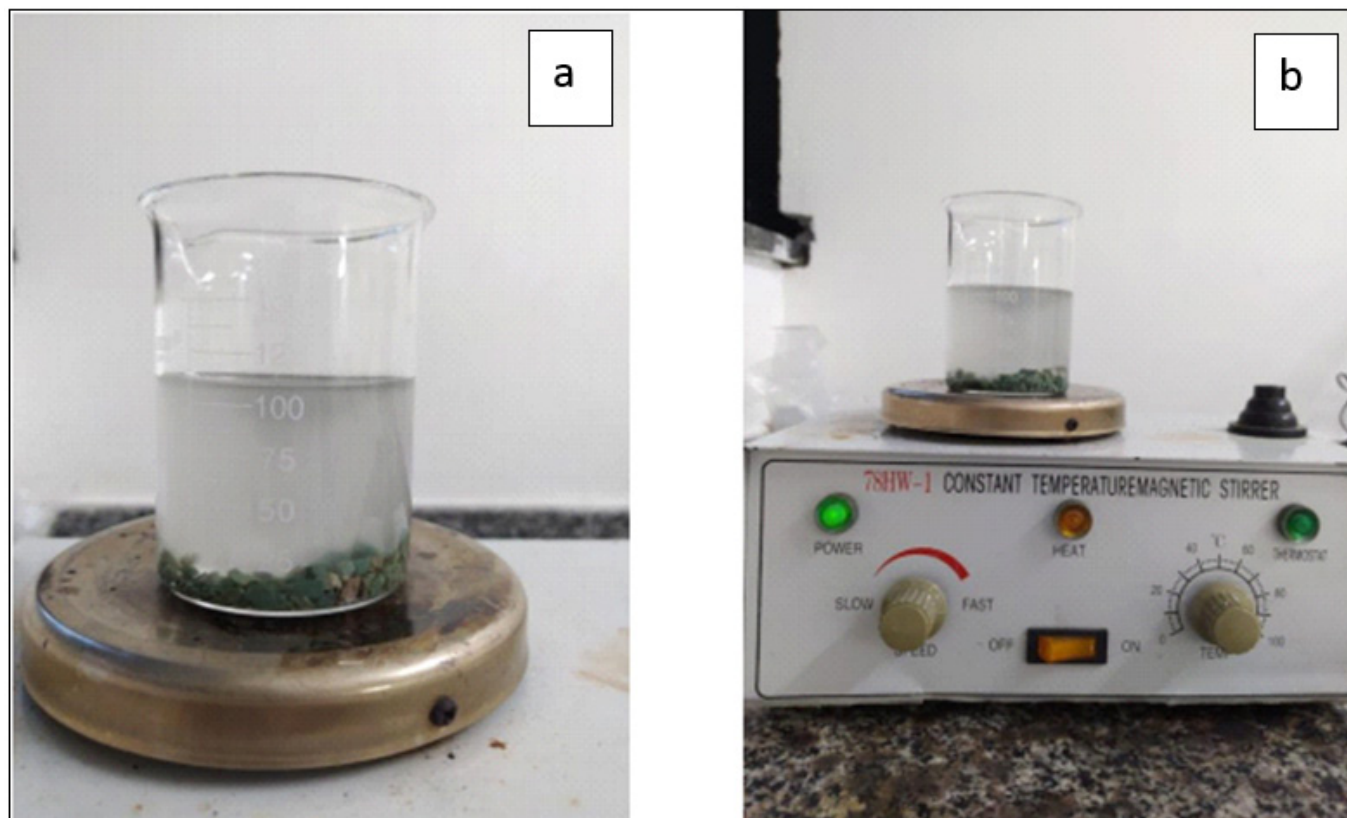
O efluente contendo íons prata foi sintetizado medindo-se 17 g de  $\text{AgNO}_3$  puro numa balança analítica e dissolvendo-se em água, totalizando um volume de 214 mL. Duas porções de 100 mL dessa solução foram utilizadas para os ensaios de adsorção com 5 g de zeólita e colocados em agitador magnético, sendo uma para o experimento à temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$  (Ensaio 1) e a outra para a temperatura de  $70^\circ\text{C}$  (Ensaio 2). Para cada um dos dois ensaios, foram tomadas amostras de 10 mL com intervalos de 30 minutos até 2 horas de processo. A massa de prata em cada amostra foi determinada por gravimetria, precipitando-se a amostra com solução de NaCl em excesso, secando-se o precipitado branco de AgCl em estufa e pesando-se o mesmo em balança analítica. A formação do precipitado branco de AgCl ocorre conforme a reação 1 em meio aquoso:



Na Figura 1 estão representados os ensaios realizados para a adsorção dos íons prata.

**Figura 1:** Ensaios de adsorção para remoção de íons  $Ag^+$  com zeólita: (a) temperatura de  $25^{\circ}C$  (ensaio 1); (b) temperatura de  $70^{\circ}C$  (ensaio 2).

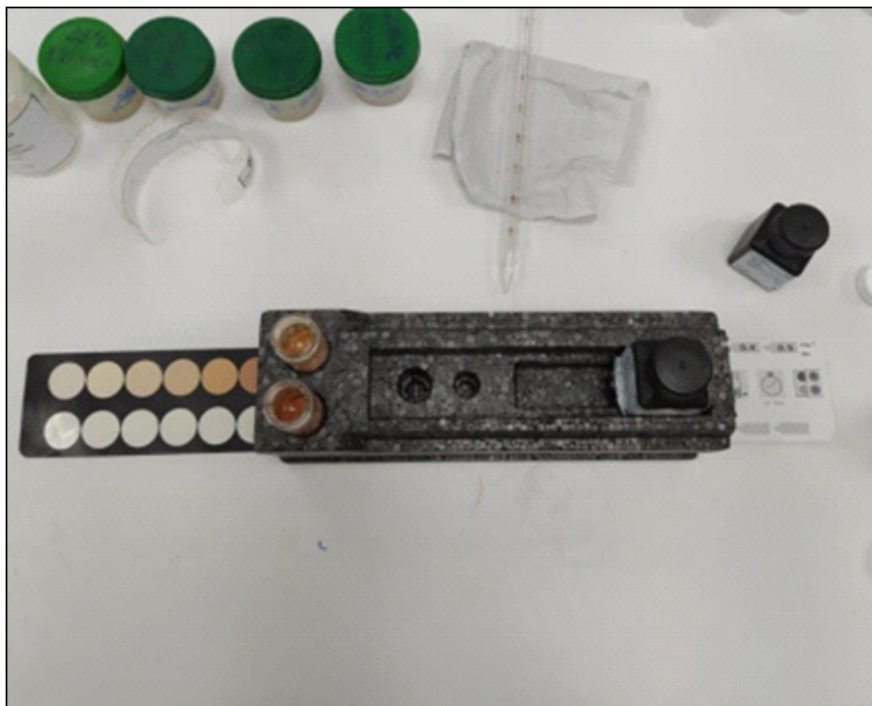
**Figure 1:** Adsorption tests for removal of  $Ag^+$  ions with zeolite: (a) temperature of  $25^{\circ}C$  (test 1); (b) temperature  $70^{\circ}C$  (test 2).



**Fonte:** próprio autor

Após realizar todos os ensaios e análises para o efluente contendo íons  $Ag^+$ , realizou-se o mesmo procedimento experimental para um efluente real, proveniente de manancial, rico em íons manganês ( $Mn^{2+}$ ). No entanto, como a concentração desses íons no efluente é considerada mais baixa (cerca de  $10\text{ mg/L}$ ) do que o que foi sintetizado para o efluente de íons  $Ag^+$ , optou-se por utilizar uma massa menor de zeólita (apenas  $1\text{ g}$ ) para os ensaios (denominados Ensaio 3 para a temperatura de  $25^{\circ}C$  e Ensaio 4 para a temperatura de  $70^{\circ}C$ ). O procedimento analítico para a determinação do manganês foi o método colorimétrico, via comparação visual com escalas de cor (Figura 2). Para a análise, as 8 amostras coletadas nos ensaios de adsorção (4 amostras para a temperatura a  $25^{\circ}C$  e 4 para o ensaio a  $70^{\circ}C$ ) tiveram seu pH alterado para valores entre 11 e 11,5 para que os reagentes empregados no método colorimétrico pudessem ser aplicados.

**Figura 2:** Método de análise colorimétrica para análise de íons  $Mn^{2+}$ .  
**Figure 2:** Colorimetric analysis method for analyzing  $Mn^{2+}$  ions.



**Fonte:** próprio autor

A análise de dados ocorreu através de comparações diretas de dados experimentais de massa fornecidos pelos ensaios de adsorção. Os dados quantitativos foram submetidos a construção de gráficos de influência para a análise do comportamento do mineral. O software utilizado para compilar os dados experimentais, através de planilhas e gráficos, foi o Microsoft Office Excel 2016 ®.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados dos Ensaios 1 e 2 (efluente contendo íons $Ag^+$ )

A presente análise experimental foi dividida em duas etapas referentes a dois ensaios experimentais, submetidos a estudos de adsorção em diferentes condições de temperatura e tempo de repouso. As condições foram para o Ensaio 1 a temperatura ambiente ( $25^{\circ}C$ ) mediante a medição do termômetro (sala de laboratório) e para o Ensaio 2 foi adaptada a temperatura de  $70^{\circ}C$  controlada por equipamento (agitador magnético) e termômetro.

Na Tabela 1 estão indicados os resultados para a adsorção de íons pratas pela zeólita comercial na temperatura ambiente. A remoção pontual se refere à quantidade de íons sendo removida em cada intervalo de 30 minutos, e a remoção acumulada se refere à quantidade acumulada total até o intervalo considerado. Nota-se um decréscimo da quantidade de prata na solução com o passar do tempo, com uma remoção pontual de cerca de 20% da quantidade presente no efluente apenas nos primeiros 30 minutos do experimento. Para os demais intervalos de tempo, esta quantidade foi diminuindo, provavelmente devido à saturação da zeólita pela prata, até atingir o equilíbrio.



**Tabela 1:** Resultados do experimento de adsorção de íons  $Ag^+$  pela zeólita comercial à temperatura ambiente (Ensaio 1)

**Table 1:** Results of the  $Ag^+$  adsorption experiment by commercial zeolite at room temperature (Assay 1)

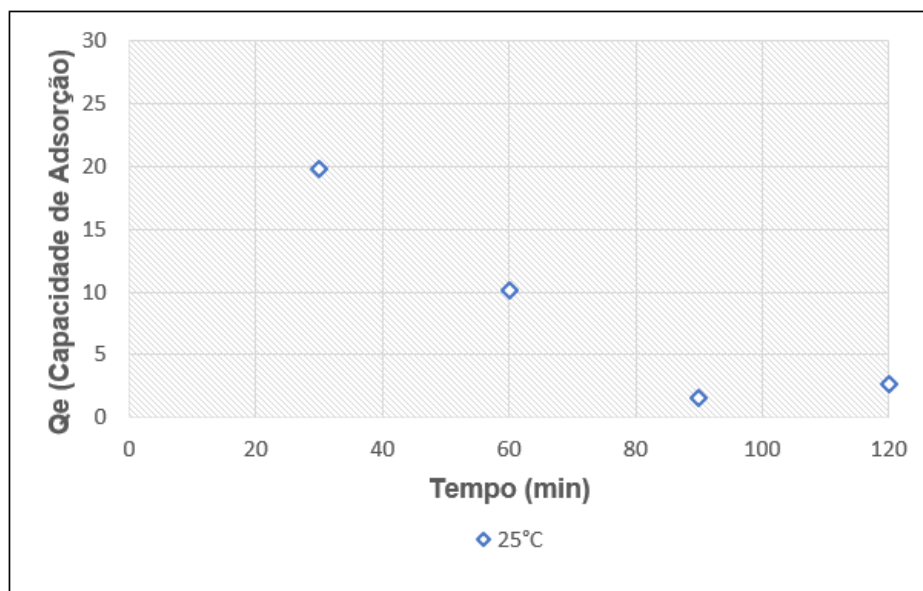
Tempo (minutos)	Remoção Pontual (%)	Remoção Acumulada (%)	$Q_e$ (mg/g)	$Ag^+$ retida Pontual (g)	$Ag^+$ retida acumulada (g)
30	20,21	20,21	19,76	0,0989	0,0989
60	10,36	30,57	10,13	0,0507	0,1496
90	1,65	32,23	1,6185	0,0081	0,1577
120	2,76	34,99	2,68	0,0135	0,1712
<b>Total</b>	<b>34,99</b>	-	-	<b>0,1712</b>	-

Fonte: próprio autor

A Figura 3 apresenta um gráfico indicando a quantidade de prata removida em cada intervalo de tempo (capacidade de adsorção ou remoção pontual) para este ensaio, mostrando que ela foi diminuída a cada intervalo estudado.

**Figura 3:** Tempo x Capacidade de adsorção ( $Q_e$ ) para o Ensaio 1.

**Figure 3:** Time x Adsorption Capacity ( $Q_e$ ) for Test 1.



Fonte: próprio autor



Com relação ao Ensaio 2, realizado à temperatura de 70°C, na Tabela 2 são mostrados os resultados obtidos.

**Tabela 2:** Resultados do experimento de adsorção de íons Ag<sup>+</sup> pela zeólita comercial à temperatura de 70°C (Ensaio 2)

**Table 2:** Results of the adsorption experiment of Ag<sup>+</sup> ions by commercial zeolite at a temperature of 70°C (Assay 2)

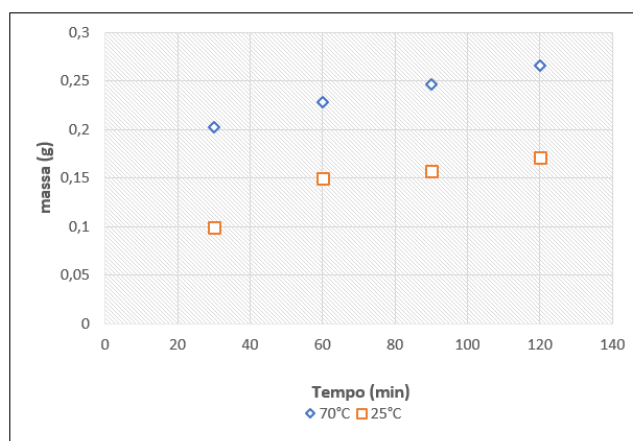
Tempo (minutos)	%Remoção Pontual (%)	%Remoção Acumulada (%)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	Ag <sup>+</sup> retida Pontual (g)	Ag <sup>+</sup> retida acumulada (g)
30	41,38	41,38	40,50	0,2025	0,2025
60	5,23	46,61	5,12	0,0256	0,2281
90	3,72	50,33	3,64	0,0182	0,2463
120	4,13	54,46	4,04	0,0202	0,2665
<b>Total</b>	<b>54,46</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,2656</b>	<b>-</b>

Fonte: próprio autor

Nota-se que, já nos primeiros 30 minutos de reação, a zeólita conseguiu apresentar um alto potencial de retenção pontual, com um valor de 41,38%. Este valor é praticamente o dobro do valor adsorvido à temperatura ambiente para este mesmo íon no mesmo intervalo de tempo (20,2%). Esse resultado mostra que a adsorção da zeólita a uma temperatura maior se mostrou mais eficiente, tal como indicado na Figura 4, ao se compararem as massas retidas acumuladas em cada um dos dois ensaios. Da mesma forma que o Ensaio 1, a quantidade de íons prata adsorvidos pontualmente foi diminuindo com o passar do tempo, indicando saturação gradativa da zeólita, chegando a uma quantidade removida final de 54,46%. Desse modo, pode-se afirmar que o processo de adsorção apresenta melhores resultados com temperaturas maiores e nos primeiros minutos de contato entre efluente e o material.

**Figura 4:** Massas de Ag adsorvidas na zeólita nos ensaios 1 (25°C) e 2 (70°C)

**Figure 4:** Ag adsorbed masses on the zeolite in tests 1 (25°C) and 2 (70°C)



Fonte: próprio autor


**Resultados dos Ensaios 3 e 4 (efluente contendo íons Mn<sup>2+</sup>)**

Para o ensaio de adsorção da zeólita no efluente de manancial rico em íons manganês (Ensaio 3) a temperatura ambiente (25°C), os resultados são expressos na Tabela 3. Os resultados mostram que uma quantidade razoável (20%) do manganês contido no efluente só conseguiu ser retida após 60 minutos de processo e que dobrou após 120 minutos. Isso mostra que o processo de adsorção do manganês pela zeólita se apresentou mais lento em relação aos ensaios com a prata, embora tenha sido eficiente. Vale ressaltar que o método colorimétrico, por ser um método de comparação de cor de análise visual e subjetiva, está mais sujeita a erros de medida do que os métodos gravimétricos, embora seja de leitura rápida e prática.

**Tabela 3:** Resultados do experimento de adsorção de íons Mn<sup>2+</sup> pela zeólita comercial à temperatura ambiente (Ensaio 3)

*Table 3: Results of the adsorption experiment of Mn<sup>2+</sup> ions by commercial zeolite at room temperature (Assay 3)*

Tempo (min)	Remoção Pontual (%)	Remoção Acumulada (%)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	Mn <sup>2+</sup> retida Pontual (g)	Mn <sup>2+</sup> retida acumulada (g)
30	0	0	0	0	0
60	20	20	0,03	0,03	0,03
90	0	20	0,03	0	0,03
120	20	40	0,06	0,03	0,06
<b>Total</b>	<b>40</b>	-	-	<b>0,06</b>	-

**Fonte:** próprio autor

Como resultado, pode-se observar que a zeólita comercial conseguiu acumular em sua superfície cerca de 40% dos íons de manganês presentes no efluente, se mostrando um bom material para tratar efluentes ricos em Mn<sup>2+</sup>.

Para o Ensaio 4, em que a zeólita foi utilizada para tratar esse mesmo efluente na temperatura de 70°C, os resultados são mostrados na Tabela 4. Pode-se observar que já nos primeiros 30 minutos, a quantidade de íons Mn<sup>2+</sup> retidos ultrapassou 80% da quantidade contida no efluente, sendo essa quantidade constante até o fim do experimento. Isso mostra que a uma temperatura de 70°C, a adsorção do manganês pela zeólita se mostrou muito rápida, já atingindo o equilíbrio em pouco tempo.

**Tabela 4:** Resultados do experimento de adsorção de íons Mn<sup>2+</sup> pela zeólita comercial à temperatura de 70°C (Ensaio 4)

*Table 4: Results of the experiment of adsorption of Mn<sup>2+</sup> ions by commercial zeolite at a temperature of 70°C (Assay 4)*

Tempo (min)	%Remoção Pontual (%)	%Remoção Acumulada (%)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	Mn <sup>2+</sup> retida Pontual (g)	Mn <sup>2+</sup> retida acumulada (g)
30	81,309	81,309	0,1219	0,122	0,122
60	0	81,31	0,1219	0	0,122
90	0	81,31	0,1219	0	0,122
120	0	81,31	0,1219	0	0,122
<b>Total</b>	<b>81,309</b>	-	-	<b>0,122</b>	-

**Fonte:** próprio autor

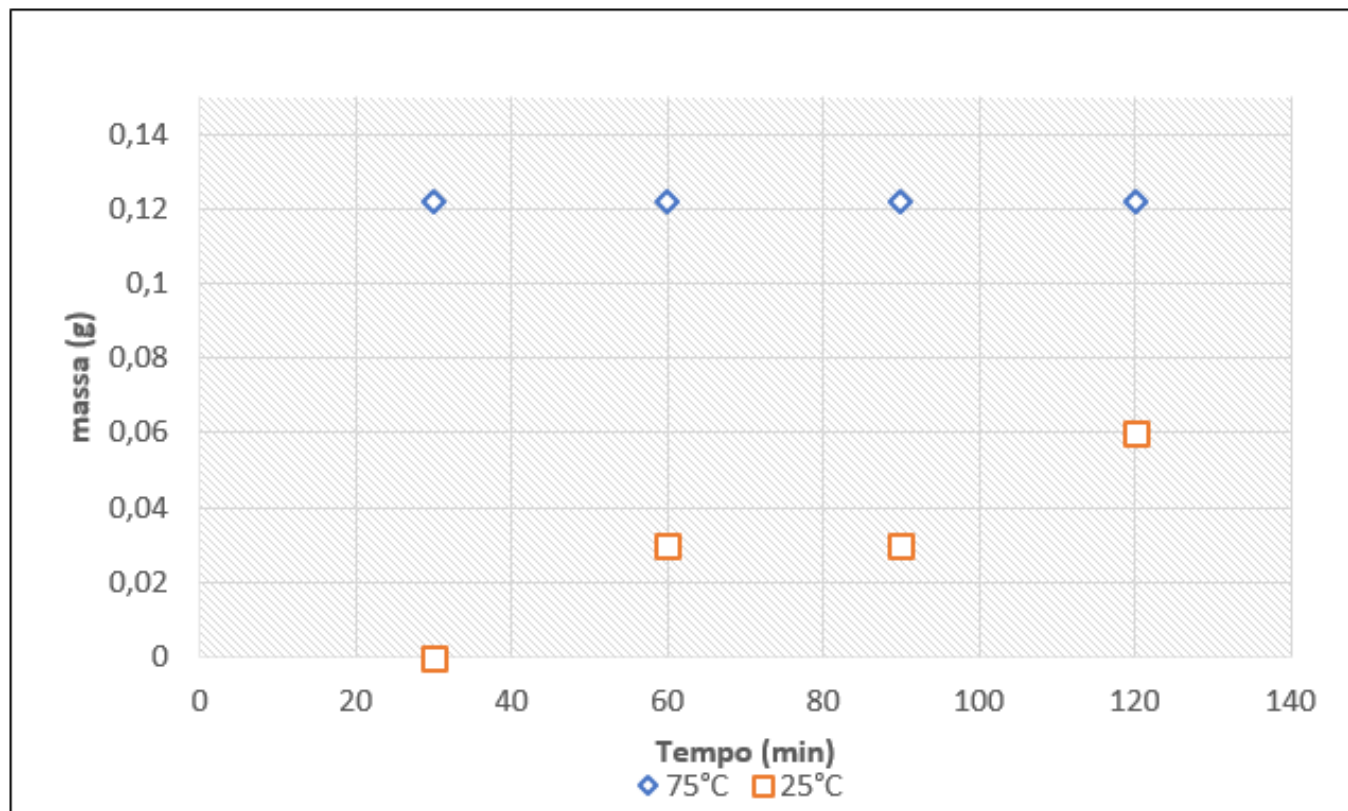




A Figura 5 mostra um comparativo entre as massas de  $Mn^{2+}$  retidas pela zeólita, indicando que um aumento da temperatura aumenta a quantidade de íon adsorvida pela zeólita.

**Figura 5:** Massas de  $Mn^{2+}$  adsorvidas nas Zeólita nos ensaios 3 ( $25^{\circ}C$ ) e 4 ( $70^{\circ}C$ )

**Figure 5:** Masses of  $Mn^{2+}$  adsorbed onto Zeolites in tests 3 ( $25^{\circ}C$ ) and 4 ( $70^{\circ}C$ )



Fonte: próprio autor

Da Figura 5, constata-se que a grande diferença de remoção de íons manganês entre os ensaios 3 e 4, mostrando que a influência da temperatura nesses ensaios foi maior que nos ensaios de adsorção com a prata (Ensaio 1 e 2).

## CONCLUSÃO

A zeólita estudada se apresentou como um bom mineral para fins de tratamento de efluentes contendo  $Ag^{+}$  e  $Mn^{2+}$  por adsorção. Os resultados obtidos apresentaram remoções de íons maiores que 35% do total presente no efluente (prata a  $25^{\circ}C$ ), chegando a um total de 81% para temperaturas mais elevadas (caso do manganês a  $70^{\circ}C$ ), pelo que se pode afirmar que, em temperaturas mais elevadas, os resultados se tornam mais significativos. Pode-se afirmar que as zeólitas se comportaram de maneira simples e eficiente, sem apresentação de erros significativos, o que a torna um bom material para tratamento de efluentes composto por metais pesados, em específico os íons  $Ag^{+}$  e  $Mn^{2+}$ . Vale ressaltar, no entanto, que as zeólitas ainda são considerados materiais de custo elevado e são melhor aplicados no tratamento de efluentes em larga escala se houver pouca concentração de contaminantes (MACENA, 2021). Dessa forma, um dos desafios para uso das zeólitas no tratamento de efluentes, é o aumento de sua capacidade adsorviva.

Estudos para a eliminação de outros tipos de metais pesados, tais como cádmio, mercúrio e chumbo, utilizando



este material são necessários para confirmar sua aplicabilidade em termos gerais para tratamento de efluentes.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UNINASSAU (Campus Graças-Recife-PE) e a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) por disponibilizar os laboratórios e equipamentos necessários para realização dos ensaios do presente experimento e aos demais colaboradores.

## REFERÊNCIAS

AMBRÓSIO, Natália et al. Remoção de metais pesados de efluentes utilizando líquidos iônicos: uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 50189-50209, 2021.

DEZOTTI, Márcia. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**: Volume 5 da Série Escola Piloto de Engenharia Química. Editora E-papers, 2008.

FERRET, Lizete Senandes. **Zeólitas de cinzas de carvão**: Síntese e uso. 2004. 139 f. Tese Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR-RS. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/6643> Acesso em: 03 mar. 2021.

FIALHO, Fernanda Lacerda; VALDUGA, Davi Marcos; KAUTZMANN, Rubens Müller. Caracterização de rocha com zeólita para tratamento de efluente de aterro sanitário. In: SEFIC2018, Universidade La Salle, Rio Grande do Sul. **Anais eletrônicos**... Rio Grande do Sul: Canoas. 2018.

GUIMARÃES, Luiza Neves, BARBOSA, Paulina Maria Maia. **Lixo**: um moderno problema antigo Ciência para todos - Viajando com o meio ambiente, Universidade Federal de Minas Gerais. 2011. Disponível em: [https://www.ufmg.br/cienciaparatodos/wp-content/uploads/2012/08/e5\\_15-lixoumodernoproblemaantigo.pdf](https://www.ufmg.br/cienciaparatodos/wp-content/uploads/2012/08/e5_15-lixoumodernoproblemaantigo.pdf). Acesso em: 03 mar 2021.

JACOBS, P. A. et al. **Introduction to zeolite science and practice**. Elsevier, 2001.

MACENA, M.W. **Análise do potencial de adsorção de íons metálicos em solução aquosa por resíduos lenhoce-lulósicos**. 2021. 71f. Dissertação. Mestrado em Tecnologias Ambientais, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.