

FILTRO MINERAL DE BAIXO CUSTO, PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA, FEITO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO ECOLÓGICO DOS REJEITOS DO GRANITO OCRE DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – TAMM

TAMM: low-cost mineral filter for water treatment, made from the ecological reuse of ochre granite waste from the ornamental stone industry

Francisco Renato Moreira da Silva¹
Lucas Cavalcante Silva²

RESUMO

Nordeste enfrentamos a problemática da água. A água é essencial para a vida, mas sua potabilidade está em crise mundial. Diante dessas problemáticas, a pesquisa surge com objetivo de desenvolver um tratamento de baixo custo, produzido a partir do reaproveitamento de tais rejeitos, visando a melhoria do acesso à água potável. De forma inicial realizou-se um levantamento sobre as amostras descartadas na região do lócus, onde realizou-se a trituração e as análises de caracterização necessárias, onde o granito Ocre Itabira obteve os melhores resultados. Com a finalidade de melhorar as taxas de retenção pelo adsorvente, aumentou a superfície de contato por meio de um ataque ácido e validou-se a eficiência por meio do teste de adsorção. Após esse processo, iniciou-se a montagem do filtro, constituída por camadas, a primeira por um polímero siliconado, a segunda pelo ocre e as posteriores de diferentes tipos de areia e pedra. A partir disso foi realizado o tratamento da água e averiguado sua eficiência através de análises físico-químicas e biológicas da água bruta e tratada. Concluiu-se com a elaboração e aplicação da pesquisa, que ela é uma alternativa viável para a reutilização da água

ABSTRACT

The ornamental stone industry produces granite and marble, but much of the extracted material is discarded due to its low added value. In the Northeast of Brazil, this waste disposal issue coincides with a water crisis. According to the UN (2023), a quarter of the global population lacks access to potable water. This research aims to develop an ecological treatment using a low-cost prototype made from ornamental stone waste to enhance water potability. The methodology involved identifying discarded samples, crushing them, and conducting analyses, with Ocre Itabira granite showing the best results. To improve adsorption efficiency, the surface area was increased via acid treatment, followed by adsorption tests. The filter was assembled in a PET bottle with layers: a siliconized polymer, ochre granite, and various sands and stones. Water treatment efficiency was evaluated through physical-chemical and microbiological analyses of raw and treated water. The results indicate that the system effectively removes impurities, making contaminated water suitable for consumption. To disseminate the technology, mini-workshops, lectures, and community engagement activities were conducted, promoting its adoption.

1. Especialista no Ensino de Química e Biologia (IPEMIG) e Coordenação e Gestão Escolar (UNIQ). Professor na Escola Estadual de Educação Profissional Antonio Rodrigues de Oliveira.

2. Estudante do Curso Técnico Integrado em Enfermagem da Escola Estadual de Educação Profissional Antonio Rodrigues de Oliveira.

contaminada, sendo capaz de remover as impurezas, deixando-a apta para ser consumida. Para divulgação foram realizadas oficinas, palestras e ações na comunidade lócus da pesquisa.

Keywords: *Treatment. Water. Ornamental Stones. Adsorption. Low Cost.*

Palavras-chave: Tratamento. Água. Rochas Ornamentais. Adsorção. Baixo custo.

1 INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel fundamental na preservação e manutenção da vida, sendo um recurso finito cuja má gestão impacta diretamente sua quantidade e qualidade. Essa problemática não apenas afeta o presente, mas também coloca em risco o acesso futuro à água, como destacado por Silva e Bezerra (2022). Diante da crescente ameaça de escassez, torna-se cada vez mais urgente a adoção de medidas que promovam uma gestão hídrica sustentável, visando à preservação desse recurso. A superpopulação e a destruição ambiental desenfreada têm sido fatores determinantes no aumento da desigualdade em diversas esferas globais, como mencionado por Oliveira *et al.* (2020). O crescimento populacional, aliado ao uso inadequado de recursos essenciais, contribui para uma distribuição precária e um acesso limitado a esses recursos, devido à demanda excessiva gerada.

A escassez de água é uma realidade cada vez mais presente, especialmente em regiões como o Nordeste brasileiro. O semiárido brasileiro, caracterizado por suas condições climáticas, enfrenta longos períodos de seca e estiagem, que impactam diretamente o acesso à água potável, especialmente em áreas rurais (Dos Santos, 2023). A situação do Ceará, estado brasileiro, exemplifica essas dificuldades, sendo considerado o estado mais seco do Nordeste do país, assim afirma a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2018).

Na microrregião do Sertão Central cearense, a população enfrenta o desafio de consumir água sem tratamento adequado, como evidenciado por Silva e Silva (2022), o que contribui para problemas de saúde. No contexto específico do município de Pedra Branca, no Ceará, a situação hídrica é alarmante, com a maioria dos mananciais contaminados e o único reservatório salubre está operando com apenas 13% de sua capacidade. Esses desafios destacam a urgência de medidas eficazes para garantir o acesso à água potável e sua gestão sustentável na cidade de Pedra Branca no estado do Ceará.

No lócus desta pesquisa, além das preocupações ambientais, climáticas e logísticas associadas à água, há uma relevante inquietação em relação ao elevado volume de resíduos gerados pelas indústrias de rochas ornamentais. Por a cidade ser um centro de processamento desses materiais, surgem subprodutos, como rebarbas, que carecem de valor econômico ou utilidade na indústria local da construção civil. De acordo com

a definição de De Queiroz Neto (2000), as rochas ornamentais são caracterizadas como um conjunto de rochas naturais que adquirem propriedades distintas em sua estrutura cristalina, moldadas pelo espaço de formação. Elas se segmentam em categorias como mármore, granito, quartzito, ardósia, travertino, entre outras, cada qual com atributos singulares adequados a diferentes aplicações.

As rochas ornamentais desempenham um papel substancial no mercado, registrando elevada produção e valorização. Conforme Campos de Oliveira *et al.* (2024), apenas no primeiro semestre de 2023, foram movimentadas 915,3 mil toneladas de rochas. Os estados do Ceará, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia e Rio Grande do Norte, em conjunto, são responsáveis por aproximadamente 97,9% das exportações nacionais. Essa intensa produção gera grandes quantidades de rejeitos da indústria de rochas ornamentais. Embora haja oportunidades de reutilização, como na fabricação de tijolos ou blocos, os custos logísticos associados ao transporte para centros de processamento, ainda escassos no Brasil, limitam as opções de reaproveitamento (Dos Santos *et al.*, 2024). Diante das limitações e da falta de atratividade econômica, tem-se observado um alto descarte inadequado desses materiais, gerando impactos ambientais e degradando ecossistemas, especialmente em áreas remotas. Esse quadro resulta em efeitos adversos como o aumento da alcalinidade e redução da fertilidade do solo, o desequilíbrio na biodiversidade local, economia e agricultura (Dos Santos *et al.*, 2024).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É essencial analisar o estudo de Silva e Bezerra (2022), que investiga a gestão hídrica no Brasil e revela como a administração inadequada dos recursos naturais tem contribuído para a redução da disponibilidade de água potável. Nesse contexto, Coelho (2023) reforça a urgência de medidas eficazes para a preservação e o uso sustentável desse recurso, diante da crescente escassez.

Para compreender melhor as causas da intensificação da crise hídrica no país e a degradação dos mananciais, o estudo de Oliveira *et al.* (2020) se torna fundamental. A pesquisa evidencia os impactos do crescimento populacional desordenado e do desmatamento sobre os recursos hídricos, afetando diretamente sua qualidade e disponibilidade. Segundo Oliveira *et al.* (2020, p. 2.):

O crescimento populacional desordenado e o desmatamento impactam diretamente os recursos hídricos, reduzindo sua qualidade e disponibilidade. Esse cenário se agrava com a falta de políticas públicas efetivas e o manejo inadequado do solo, resultando em escassez de água potável e aumento da poluição dos mananciais. Dessa forma, torna-se essencial a implementação de medidas sustentáveis para garantir a preservação dos recursos hídricos e a qualidade de vida das populações afetadas.

Por outro lado, a degradação dos mananciais, impulsionada pela urbanização acelerada e pela exploração

indiscriminada do meio ambiente, compromete o abastecimento de água e agrava o cenário de escassez hídrica em diversas regiões. Em adição, o autor Ferreira (2023) destaca como a desigualdade social aos direitos básicos, impulsionados pela escassez de água no mundo, expõe a sociedade a diversos riscos, como a contaminação e propagação de doenças. Para (Ferreira 2023, p.6.):

[...] a falta de acesso igualitário aos direitos básicos, agravada pela escassez de água, coloca a sociedade em situação de vulnerabilidade, aumentando os riscos de contaminação e disseminação de doenças como cólera, hepatite A, amebíase e leptospirose. Esse quadro é ainda mais preocupante em comunidades que não possuem infraestrutura adequada para o abastecimento e tratamento da água, tornando essencial a adoção de medidas de saneamento e conscientização para minimizar tais impactos.

A distribuição desigual dos recursos hídricos no Brasil é um fator determinante para o acesso à água potável em diferentes regiões do país. De acordo com o estudo de De Amorim Teixeira (2023), essa disparidade afeta significativamente a oferta do recurso, criando desafios para populações que vivem em áreas mais áridas. Magno (2023) complementa essa análise ao destacar que a concentração dos recursos hídricos na região Norte, somada à baixa densidade populacional, intensifica as dificuldades enfrentadas por outras regiões, especialmente aquelas com maior demanda e menor oferta de água de qualidade.

Para entender melhor as dificuldades de acesso à água potável, é essencial considerar o estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). A pesquisa aponta que o semiárido nordestino, uma vasta região marcada por longos períodos de estiagem, enfrenta severas limitações na captação e distribuição de água. Além disso, segundo Dos Santos (2023), as condições climáticas adversas agravam, ainda mais, os desafios para as comunidades locais, comprometendo a segurança hídrica e sanitária da população.

Diante desse cenário, políticas públicas vêm sendo implementadas para minimizar os impactos da escassez hídrica no nordeste brasileiro. Um exemplo é a Lei Federal nº 4.442/2016, que regulamenta a Operação Carro-Pipa, um programa emergencial voltado ao abastecimento de comunidades afetadas pela seca no Nordeste brasileiro (Brasil, 2016). No entanto, Pinto (2024) alerta que, apesar dos altos custos dessa iniciativa para o Estado, a água distribuída muitas vezes não é própria para o consumo humano, pois provém de mananciais contaminados e poluídos, evidenciando a necessidade de medidas mais eficazes para o tratamento desse recurso essencial.

No contexto específico do Ceará, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) aponta que as condições climáticas extremamente adversas tornam a captação e o armazenamento de água em poços uma alternativa viável, embora dispendiosa. No entanto, Siqueira *et al.* (2021) observam que a água extraída desses poços frequentemente apresenta altas concentrações de magnésio e cálcio, caracterizando a "água dura", que exige tratamento adequado antes do consumo.

Além das limitações em termos de quantidade e qualidade da água, Silva e Silva (2022) ressalta que apenas 57% da população brasileira tem acesso a algum tipo de tratamento de água. Destes, 56% recebem um tratamento ineficaz, o que reforça a necessidade urgente de investimentos em infraestrutura e saneamento básico para garantir o acesso universal à água potável e de qualidade.

Além dos fatores ambientais e socioeconômicos, é crucial investigar os impactos diretos da atividade industrial, especialmente a do setor de rochas ornamentais, na degradação ambiental. O estudo de Dos Santos *et al.* (2024) evidencia que o descarte inadequado de resíduos da indústria, quando expostos a processos de intemperismo exógeno provocado pelas condições naturais do planeta, este resíduo acaba entrando em degradação, e por isso libera alguns componentes químicos presente em sua composição, o que influencia a ocorrência do endurecimento do solo, dificultando a infiltração da água e podendo contaminar os mananciais e lençóis freáticos, por exemplo. Para Dos Santos *et al.* (2024, p.13.):

[...] o descarte inadequado de resíduos oriundos da indústria de rochas ornamentais, ao ser exposto a processos de intemperismo exógeno induzidos por fatores climáticos e ambientais, favorece a degradação dos materiais e a consequente liberação de elementos químicos constituintes. Esses componentes, ao interagirem com o meio, podem alterar significativamente as propriedades físico-químicas do solo, resultando no seu adensamento e endurecimento. Esse fenômeno compromete a capacidade de infiltração da água, intensificando o escoamento superficial e reduzindo a recarga dos aquíferos. Além disso, a lixiviação dos elementos químicos provenientes desses resíduos representa um potencial risco de contaminação para os mananciais superficiais e subterrâneos, o que pode comprometer a qualidade da água e afetar ecossistemas aquáticos e o abastecimento humano.

Esse processo impacta diretamente a qualidade da água disponível, uma vez que os poluentes resultantes da degradação dos resíduos promovem alterações em suas propriedades físico-químicas e microbiológicas, tornando-a inadequada para o consumo humano e diversas atividades produtivas. A presença de metais pesados, material particulado em suspensão e compostos potencialmente tóxicos compromete a integridade dos ecossistemas aquáticos, reduz a biodiversidade e demanda processos de purificação mais avançados e onerosos. Além disso, a deterioração da qualidade da água intensifica os desafios enfrentados por comunidades já afetadas pela escassez hídrica, agravando sua vulnerabilidade socioeconômica e dificultando o acesso a fontes seguras e sustentáveis de abastecimento.

Deste ponto de vista, para a remediação destes problemas, alguns procedimentos são utilizados, como a adsorção, um processo no qual os efluentes são transferidos de uma solução para uma superfície sólida e porosa, sendo a substância retida denominada adsorbato e a substância com a capacidade de reter chamada de adsorvente (Wang; Guo, 2020).

Para aprofundar a pesquisa sobre o tema proposto, foram considerados estudos consolidados na literatura científica que investigam a adsorção em estruturas minerais, como quartzos, zeólitas e argilas organofílicas. Essas estruturas são amplamente analisadas devido à sua capacidade de reter impurezas por

meio de processos adsorptivos, que ocorrem em função da porosidade presente em suas composições, e os dois primeiros materiais fazem parte da composição de algumas estruturas pedológicas de rochas ornamentais, o que reforça sua viabilidade na aplicação ambiental.

Trabalhos como os de Hul [2024] e Zheng [2024] para os quartzos, Buzukashvili [2024] e Zhang [2024] para as zeólitas e Alomari [2024], Ouaddari [2024], Melo [2023] e Silva [2019] para as argilas organofílicas, demonstram que essas matrizes minerais possuem propriedades adsorventes comparáveis às de materiais amplamente utilizados, como os carvões ativados, pois, os mecanismos de adsorção desses materiais assemelham-se a esta matriz, se diferenciando pela sua origem: quartzos, zeólitas e argilas possuem natureza inorgânica/mineral, enquanto o carvão ativado deriva de fontes orgânicas ricas em carbono.

Além disso, sua similaridade estrutural com grupos petrograficamente reconhecidos, como granitos e mármore, reforça sua relevância para a pesquisa, sugerindo seu potencial para aplicações na retenção e remoção de impurezas em diferentes contextos. A partir disso, surge a alternativa de realizar um estudo com a matriz descartada pelas indústrias de rochas ornamentais para verificar o potencial adsorptivo e de correção físico-química de alguns parâmetros que serão posteriormente analisados.

3 METODOLOGIA

A metodologia para a escolha da matriz mineral para o filtro envolveu várias etapas. Inicialmente, foram feitas visitas às indústrias de rochas ornamentais presentes no lócus da pesquisa, a qual foram coletados dados e amostras das rochas mais utilizadas, sendo eles os granitos Itaúnas, São Gabriel, Verde Pérola, Ocre Itabira, e o mármore Bege Bahia.

Ao decorrer da investigação, foram identificadas práticas de descarte dos rejeitos e a falta de reutilização dos mesmos. As amostras coletadas foram submetidas a rigorosos padrões de identificação, armazenamento e transporte para garantir a integridade do material. Realizou-se um levantamento bibliográfico para compreender as composições pedológicas e mineralógicas das amostras.

Nos testes iniciais, foram enviadas amostras para a realização triplicatas, assim como as demais análises, dos testes de dureza e resistência mecânica. O primeiro, foi realizado em parceria com o departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará - UFC, seguindo a metodologia de Moreno Ramón e da Ibañes Asensio [2018]. Já o segundo foi feito pelo Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE campus Quixadá, seguindo a metodologia de Miranda *et al.* [2021], através do teste de compressão, ambos os parâmetros ajudarão na escolha do mineral para o processamento.

Para realizar os próximos testes, se fez necessário executar a trituração dos materiais, para esta etapa metodológica foram utilizadas técnicas de baixo custo, como o uso de marreta, almofariz e pistilo, que se mostraram eficazes na redução do tamanho das partículas, porém gerando irregularidades nos tamanhos, assim, exigindo a separação granulométrica das amostras para as análises posteriores, pois, a variação dos tamanhos modificam as características cinéticas dos processos de adsorção (Wang; Guo, 2020), a análise granulométrica segue a metodologia de figueiredo (2021), seguindo três intervalos, sendo pequeno (1 a 50 mm), médio (51 a 100 mm) e grande (101 a 150 mm).

A partir da separação granulométrica, prosseguiu-se com os testes físico-químicos. Os testes de acidez e adsorção qualitativas, foram realizados de forma conjunta, onde em recipientes distintos, se acrescentou 25 g de amostras minerais, respeitando os tamanhos granulométricos, em seguida, 50 ml de água destilada e ao fim foi realizado a aferição do pH com um pHmetro de mesa calibrado. Posteriormente, em cada recipiente, acrescentou-se 25 ml de uma solução de corante azul cresil, com concentração de 5 M e pH 6,6. Este corante foi escolhido devido à sua afinidade com meios polares e sua baixa degradação ambiental, logo, tendo elevada resistência no meio, a água (SILVA *et al.* 2023). Após a adição do corante, o pH foi verificado em dois momentos, na diluição e ao fim do teste de adsorção qualitativa.

Paralelamente separou-se um grupo controle, a efeito comparativo. Após uma hora, observamos que as amostras dos granitos ocre Itabira, Itaúnas e São Gabriel apresentaram adsorção, sendo o ocre o que obteve o melhor resultado. No entanto, devido à lentidão, realizou-se um tratamento químico, a fim de gerar maior superfície de contato nas amostras por meio de ataque ácido.

Para o ataque ácido usou 150 ml de solução de 4,5 M de ácido clorídrico (HCl) que foram adicionadas em 10 g de cada amostra, como anteriormente, e postas em agitação por 10 min. Ao fim do tratamento químico, as amostras foram filtradas, lavadas e secas em estufa a 100°C por uma hora, seguindo a metodologia de Hul (2024). O teste de adsorção qualitativa foi reaplicado e notou-se que o ocre reteve o corante em apenas 10 min, Itaúnas em 25 min, São Gabriel em 30 min e o Verde Pérola e Mármore Bege Bahia não apresentaram adsorção. Além dos testes qualitativos, realizou-se os testes quantitativos, utilizando o UV-visível, conforme a metodologia descrita por Sales (2022).

Com Base na composição de algumas rochas se fez necessário a aplicação titulométrica e térmica descrita por Zheng (2024), onde verificou-se a liberação de cátions dos metais alumínio, magnésio e cálcio, cuja liberação na água pode torná-la imprópria para consumo humano, representando um risco para a saúde a médio e longo prazo (Nelson; Cox, 2012).

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Análises físicas, mecânicas e físico-químicas das amostras minerais

Durante as análises físicas, mecânicas e físico-químicas das amostras, foram realizados testes individuais a cada matriz mineral para identificar o desempenho nos parâmetros citados durante a metodologia. Os resultados foram tabulados e apresentados na Tabela 01, incluindo os Valores Máximos Permitidos (VMP), estabelecidos pelo Ministério da Saúde seguindo a portaria 888/2021 e lei de consolidação N° 05/2017.

Tabela 1 – Análise das rochas ornamentais.

ANÁLISES FÍSICA, MECÂNICA E FÍSICO-QUÍMICAS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS DA CIDADE											
AMOSTRAS	DUREZA	RESISTÊNCIA MECÂNICA	TAMANHO	pH	ADSORÇÃO QUALITATIVO	PRESEÇA DE METAIS Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e Al ³⁺					
						QUALITATIVO	QUANTITATIVO (mg/L do cátion)				
							Ca ²⁺ e Mg ²⁺	VMP	Al ³⁺	VMP	
Ocre Itabira	6.4 Mohs	135 MPa	Pequeno	7.0	Presente	Ausente	0,0		0,0		
			Médio	7.0	Presente	Ausente	0,0		0,0		
			Grande	7.0	Presente	Ausente	0,0		0,0		
	Itaúnas	6.7 Mohs	152 MPa	Pequeno	6.9	Presente	Ausente	0,0		0,0	
				Médio	6.9	Presente	Ausente	0,0		0,0	
				Grande	6.9	Presente	Ausente	0,0		0,0	
	Granito São Gabriel	7.0 Mohs	167 MPa	Pequeno	6.9	Presente	Presente	196,0	200	0,2	0,2
				Médio	6.9	Presente	Presente	201,5		0,2	
				Grande	6.9	Presente	Presente	202,0		0,3	
Verde Pérola	7.3 Mohs	185 MPa	Pequeno	6.6	Ausente	Presente	0,0		0,1		
			Médio	6.6	Ausente	Presente	0,0		0,1		
			Grande	6.4	Ausente	Presente	0,0		0,1		
Mármore Bege Bahia	7.5 Mohs	200 MPa	Pequeno	6.8	Ausente	Presente	300,0		0,0		
			Médio	7.0	Ausente	Presente	320,0		0,0		
			Grande	6.9	Ausente	Presente	350,0		0,0		

Fonte: Autores (2024).

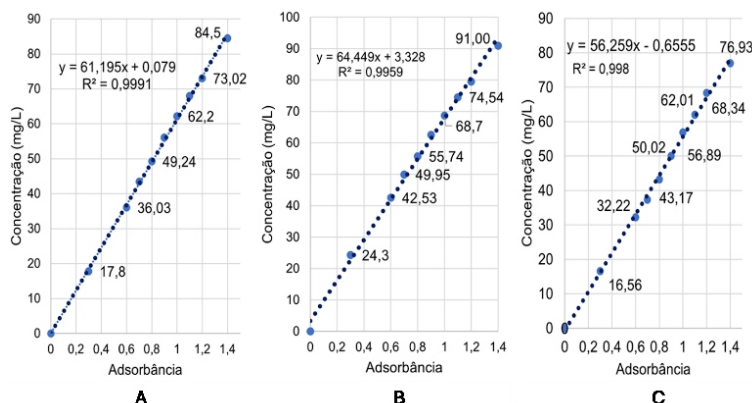
A partir do resultado, notou-se que o Ocre e Itaúnas se destacaram como os mais promissores para as próximas etapas, pois, além de apresentarem as menores durezas (6.4 e 6.7 Mohs, respectivamente) e resistência mecânica (135 e 152 MPa, respectivamente), ambos se mostraram possuir capacidade corretiva para o ajuste do pH, deixando-o neutro, bem como possuir elevada taxa de adsorção e não liberar metais em água. O que não foi notado no Bege Bahia, Verde Pérola e São Gabriel, o que os levou a serem descartados. Em contrapartida, ambas as amostras, Ocre e Itaúnas, apresentaram baixa cinética durante os testes de adsorção, levando uma hora para realizar a retenção do corante. Para sanar a lentidão, realizou-se o tratamento químico, o ataque ácido, e ao fim do processo qualitativo as amostras de ocre demoraram 10 min para reter o corante e o Itaúnas 25 min. Levando assim o ocre ser a escolha a ser trabalhada nesta etapa por possuir melhores resultados.

4.2 Testes quantitativos de adsorção

Foram conduzidas análises por espectroscopia UV-vis de forma quantitativa em todas as amostras de rochas, mas com foco no granito Ocre Itabira devido à sua notável eficiência no processo de adsorção, tanto

como amostra bruta como após o tratamento químico. Com base nesses resultados, gráficos foram elaborados para representar as taxas de adsorção da amostra em tamanho médio, sem tratamento químico [Gráfico 01 A], com tratamento químico [Gráfico 01 B], e em comparação com uma amostra de carvão ativado [Gráfico 01 C].

Gráfico 1 – Adsorção quantitativa do granito Ocre Itabira sem tratamento químico [A], com tratamento químico [B] e adsorção comparativa com amostra presente no mercado [C].



Fonte: Autores [2024].

4.3 Montagem e evoluções dos filtros minerais

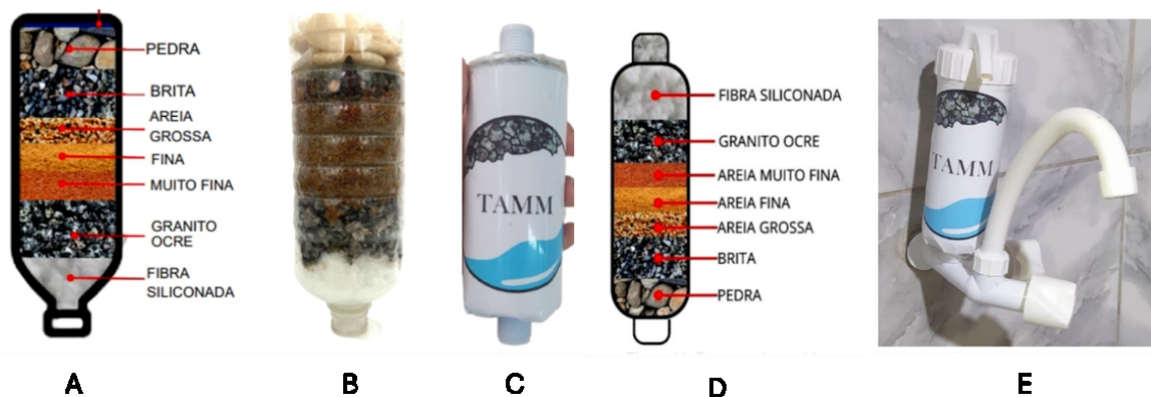
Para a produção do protótipo [Figura 01 A], foram utilizados materiais de baixo custo, como garrafas PET. O protótipo foi projetado com quatro camadas distintas, sendo elas: a primeira de polímero siliconado, responsável pelo tratamento biológico. Em sequência o granito Ocre Itabira [tamanho médio], sendo ele o adsorvente, responsável por corrigir os parâmetros físico-químicos. Posterior, estão as areias, desde as mais finas até as grossas que atuam na retenção dos contaminantes maiores, assim como as pedras, que dificultam a passagem de objetos grandes, facilitando o processo de tratamento. Na figura 01 [B] encontra-se o protótipo inicial.

Em uma etapa posterior montou-se o filtro industrial [Figura 01 C], voltado para aplicação em bebedouros, por exemplo. Sendo construído a partir do reaproveitamento de filtro deste tipo inutilizado, montado de forma inversa para realizar o tratamento de forma ascendente, em direção oposta ao filtro mineral apresentado anteriormente. O seu diferencial é a ação da pressão e gravidade, sendo ambas utilizadas como facilitadores do processo [Figura 01 D].

Com a eficiência do protótipo inicial [Figura 01 B], tratando 940 ml.min⁻¹ e o industrial [Figura 01 C] 2,1 L.min⁻¹, surgiu a ideia de aprimorar este método de tratamento de forma mais prática e viável para residências. Utilizando uma abordagem de engenharia reversa, uma torneira antiga com filtro e sem uso foi transformada em uma torneira industrial, ou seja, implementou-se o filtro industrial [Figura 01 E], sendo agora capaz de

purificar a água de maneira eficiente e rápida, tendo a mesma vazão do filtro industrial. Os custos para produção dos protótipos são: R\$0,11 (Figura 01 B), R\$0,10 (Figura 01 C) e R\$0,06 (Figura 01 E).

Figura 1 – Esquema organizacional dos filtros e os protótipos desenvolvidos.



Fonte: Autores (2024).

4.4 Análise físico-química e biológicas da água tratada

Para validar a potabilidade da água tratada, realizou-se testes físico-químicos, seguindo o Manual Prático de Análise de Água da FUNASA (2013). Os resultados estão apresentados na Tabela 02 com seus VMP, estabelecidos pelo Ministério da Saúde - MS, mediante a portaria 2.914/2011 e lei de consolidação N° 05/2017.

Tabela 2 – Análises físico-químicas das amostras antes e após o tratamento.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA BRUTA E TRATADA				
PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA	VMP MS *	UNIDADES
Cor aparente	15	3	15	Pt/L (Hansen)
Condutibilidade	1.500	400	1.000	µS/cm
pH	6,0	7,0	6 a 9	Unidade pH
Turbidez	100	20,0	100	NTU
Sólidos totais	1.500	400	1.000	mg.L ⁻¹
Dureza total	350	80,0	500	mg.L ⁻¹
Cloretos	250	120,0	250	mg.L ⁻¹ .Cl ⁻¹
Fluoretos	1	0,5	1	mg.L ⁻¹ . F ⁻¹
Oxigênio dissolvido	0,8	3	2 a 5	mg.L ⁻¹ .O ₂
Alumínio	0,15	0	0,2	mg.L ⁻¹ .Al ⁺³
Amônia	2,5	0,2	1,5	mg.L ⁻¹ .N-NH ₃

Fonte: Autores (2024).

E para a análise biológica, seguiu passos descritos por Yamaguchi *et al.* (2013), onde detectou a presença de bactérias heterotróficas, cnidário (Hydra spp.), coliformes totais e fecais e larvas de mosquito na água bruta, mas não na tratada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão do projeto, tornou-se evidente sua viabilidade para prosseguir com estudos e pesquisas futuras, incluindo um levantamento bibliográfico em busca de maneiras de incorporar outros tratamentos, como o uso de sais de prata, especialmente em contextos industriais, para um tratamento biológico mais abrangente ou a utilização de luz ultravioleta.

Assim, o filtro e seus produtos emergem como uma alternativa prática e viável para a reutilização de águas poluídas e contaminadas. Sua eficácia na remoção de efluentes e na correção dos padrões físico-químicos, conforme demonstrado nos testes realizados, é notável. Após a montagem dos primeiros protótipos e dos testes de funcionamento, entende-se a necessidade de aplicação dessa tecnologia na sociedade, garantindo aceitação, facilidade de instalação e funcionalidade prática, que de forma prática mitiga as problemáticas da água e do descarte inadequado desta matéria prima, o granito Ocre.

Ao fim desta etapa desenvolveu-se um filtro que pode ser adotado em empresas, escolas e residências, bastando integrá-lo à rede hidráulica para operar normalmente, sem modificações. É importante observar que ambos os tipos de filtragem apresentam uma vazão considerável de água por minuto, sendo o filtro industrial e a torneira mais eficiente em termos de volume tratado por minuto. No entanto, isso não desmerece o filtro ecológico, que se destaca por sua adequação ao tratamento de águas simples, como as provenientes de chuva e carros-pipa, enquanto o filtro industrial se destina a águas mais pesadas, como as de redes tubulares e bebedouros.

Quanto aos custos do tratamento, foram minimizados devido ao reaproveitamento de materiais na construção do filtro e à acessibilidade dos materiais utilizados, sendo que o único material adquirido, o polímero siliconado, tem um custo médio de apenas 0,01 real por grama.

Ao finalizar a presente pesquisa notou-se grande potencial de adsorção do granito ocre e do granito Itaúnas, porém devido a questões metodológicas reconhecemos a possibilidade de realizar estudos mais aprofundados acerca do Itaúnas, bem como elaborar pesquisas na correção da liberação de íons do granito São Gabriel, aproveitando desta forma a sua capacidade retentora.

Além dos estudos atrelados aos granitos Itaúnas e São Gabriel, se faz necessário em futuras pesquisas realizar testes cinéticos e termodinâmicos de forma a compreender melhor o processo de adsorção identificado neste grupo mineral dos granitos, uma vez que ao analisar aspectos analíticos as amostras trabalhadas apresentaram taxas consideráveis quando comparadas ao carvão ativado, adsorvente amplamente conhecido e utilizado pelo seu poder de retenção e adsorção.

Para disseminar conhecimento e promover integração dos conhecimentos adquiridos, foram realizadas oficinas com o objetivo de envolver os alunos e a comunidade local. Durante essas oficinas, os participantes não apenas produziram protótipos, mas também conduziram análises físico-químicas da água de forma prática, como o teste de pH com repolho roxo, e montaram um filtro. As opiniões e contribuições dos participantes foram compartilhadas, enriquecendo o aprendizado e impulsionando o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

ALOMARI, Asma Dhahawi Ahmad. Chemically modified clay for adsorption of contaminants: trends, advantages and limitations—a concise review. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, p.1-24, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7.181:2016. **Metodologia para análise granulométrica de solos e minerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13.818:2017. **Ensaio de resistência à compressão em rochas ornamentais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BACCAN, Nivaldo *et al.* **Química analítica quantitativa elementar**. São Paulo: Edgard Blücher ; Campinas : Universidade Estadual de Campinas, 1979.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água** / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2013. 150 p.

BRASIL. Lei nº 4.442, de 11 de julho de 2016. Dispõe sobre a Operação Carro-Pipa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/cmap/politicas/2023/avaliacoes-conduzidas-pelo-cmag/operacao-carro-pipa>. Acesso. 20 abr. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolida normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 3 out. 2017.

BRASIL. Ministério da saúde, Brasília, **Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível: http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria Nº 888**, de 04 de maio de 2021.

BRASIL. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos *et al.* – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

BUZUKASHVILI, Sofi *et al.* Uma visão geral dos zeólitos sintetizados a partir de cinzas volantes de carvão e seu potencial para extração de metais pesados de águas residuais industriais. **Canadian Metallurgical Quarterly**, v. 1, pág. 130-152, 2024.

CAMPOS DE OLIVEIRA, Daina Bourguignon *et al.* Development of lead crystal glasses using ornamental stone waste. **Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 3, 2024.

COELHO, Camila Riquete. **Gestão de Recursos Hídricos**: percepção ambiental e gestão participativa do comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. 2022.

DA SILVA, Francielly Lopes; BEZERRA, Ana Keuly Luz. Recursos hídricos: um estudo jurisprudencial sobre a aplicação dos princípios do direito ambiental pelo Supremo Tribunal Federal. **Direito e Desenvolvimento**, v. 13, n. 2, p. 220-237, 2022.

DE ÁGUA, Manual Prático de Análise. **Fundação Nacional de Saúde**. Vigilância Ambiental em Saúde. Brasília, 2013.

DE AMORIM TEIXEIRA, Alexandrel. XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 2023.

DE QUEIROZ NETO, José Pereira. Geomorfologia e pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, 2000.

DEVAVID, J.; GOMES, R.; MACHADO, T. Adsorção de íons metálicos: um estudo sobre as interações em superfícies adsorventes. **Revista Brasileira de Química Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 25-35, 2007.

DOS SANTOS, Cochiran Pereira; DE OLIVEIRA, Herbet Alves; DE JESUS SANTOS, Adriana. Estudo da viabilidade da adição de resíduo de corte de granito na produção industrial de artefatos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 29, p. 1-10, 2024.

DOS SANTOS, Kezia Andrade. Políticas públicas no semiárido brasileiro: do combate à convivência com a seca. **Geo UERJ**, n. 42, p. 66666, 2023.

FERREIRA, Gleyciane *et al.* Project microbiological quality of water in the school environment as a subsidy for health education activities: Projeto qualidade microbiológica da água no ambiente escolar como subsídio para atividades de educação em saúde. **Concilium**, v. 23, n. 5, p. 442-455, 2023.

FIGUEIREDO, A. C. **Testes Granulométricos**: Importância e Aplicações. 2021. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Materiais] – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

HUL, Gabriela *et al.* Insights into polystyrene nanoplastics adsorption mechanisms onto quartz sand used in drinking water treatment plants. **Science of the Total Environment**, v. 908, p. 168076, 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Densidade demográfica brasileira por região. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/brasil/caracteristicas-demograficas/distribuicao-da-populacao/21793-densidade-demografica-2022.>, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Organização do território brasileiro: semiárido do Brasil. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estruturateritorial15974semiarido-brasileiro.html.](https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estruturateritorial15974semiarido-brasileiro.html), 2023.

KER, A.; SILVA, M. B.; LEE, S. J. Efeito do tamanho iônico e da carga em processos de adsorção: uma revisão crítica. **Journal of Environmental Chemistry**, v. 35, n. 3, p. 102-110, 2015.

LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

MAAS, Elayne Cristina Andrade de Sousa *et al.* **Caracterização geo-tecnológica de maciços graníticos da região nordeste do Estado do Amazonas com aplicação às rochas ornamentais**. 2008.

MAGNO, Edson Carlos Furtado. A Hidrografia no Brasil nos últimos 200 anos. **Revista do Clube Naval**, v. 1, n. 405, p. 62-67, 2023.

MELO, Marlon Lima de. **Síntese de argila organofílica para sorção de carbamazepina visando a remediação de águas contaminadas por fármacos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2023.

MIRANDA, Ellen Cristina Barbosa *et al.* Os indicadores de ecoeficiência de concretos contendo adições minerais The eco-efficiency indicators of concretes containing mineral admixtures. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 1, n. 01, p. 112-129, 2021.

MORENO RAMÓN, Héctor; IBAÑEZ ASENSIO, Sara. **La Escala de Mohs: Dureza de los Minerales**. 2018.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/10267>.

OLIVEIRA, Jaime Lopes da Mota *et al.* Os desafios do saneamento como promoção da saúde da população brasileira. **Saúde em Debate**, v. 43, p. 4-5, 2020.

OUADDARI, Hanae *et al.* Removal of Methylene Blue by adsorption onto natural and purified clays: Kinetic and thermodynamic study. **Chemical Physics Impact**, v. 8, p. 100405, 2024.

QIU, Jiali. Drought impacts on hydrology and water quality under climate change. **Science of The Total Environment**, v. 858, p. 159854, 2023.

SALES, Matheus Pereira. **Síntese e caracterização de suspensões coloidais de nanopartículas de CuO para fabricação de sensores eletroquímicos para micropoluentes em água.** 2022.

SCHÖN, H. **Processamento Mineral: Técnicas e Aplicações.** Berlim: Springer, 2013.

SILVA, F. R. M. da; SILVA, R. S. da. Sistema de tratamento de água e reutilização dos efluentes contaminados. ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. 2022.

SILVA, J. Avaliação da capacidade de adsorção da argila organofílica. **Cerâmica**, v. 65, n. 379, p. 123-135, 2019.

SIQUEIRA, Rafael Gomes *et al.* Uso de sensores proximais na avaliação de sedimentos de represa de captação de água em Viçosa-MG. **Geo UERJ**, n. 39, p. 42429, 2021.

ULBRICH, H. *et al.* **Geologia básica para engenheiros.** 2023.

WANG, Y.; GUO, X. Adsorção de Metais em Solos Contaminados. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 15, p. 9201-9210, 2020.

YAMAGUCHI, Mirian Ueda *et al.* Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá-PR. **O mundo da saúde**, v. 37, n. 3, p. 312-320, 2013.

ZHANG, Xuejian *et al.* The adsorption performance, thermodynamic and kinetic model of high crystallinity Na-p zeolites prepared from oil shale ash for the waste water treatment. 2024.

ZHENG, Jie *et al.* Interface adsorption mechanism of 5-nonyl salicylaldehyde oxime on malachite surface and its flotation separation performance with calcite and quartz. **Separation and Purification Technology**, v. 332, p. 125758, 2024.