



Artigo Original

DOI: 10.66983/recet.v7i1.5368

Desenvolvimento de sistemas alternativos para purificação da água condensada por aparelhos de ar-condicionado

BATISTA, G. L.^{*,a,1} e EÇA, G. F.^{1,a,2}

^aUniversidade Federal do Recôncavo da Bahia

Submitted: 31 mai.2025 Approved 10 abr.2026 Published 10 abr.2026

Resumo

A água de condensação gerada em aparelhos de ar-condicionado é uma boa alternativa ao uso da água potável em sistemas de purificação de água utilizados em laboratórios. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da remoção de contaminantes inorgânicos da água de condensação de aparelho de ar-condicionado, por sistemas alternativos. A água de condensação (AC) foi tratada em sistemas de purificação, cujos desempenhos foram comparados a um sistema convencional de osmose reversa com deionizador. Três sistemas alternativos de purificação foram confeccionados: S_1 é o filtro de polipropileno; S_2 é o filtro de polipropileno mais 102,00 g de zeólita; e S_3 é o filtro de polipropileno mais 90,00 g de resina mista (50% catiônica e 50% aniônica). Cada sistema foi testado individualmente para o tratamento da AC sendo feitas as medições de pH, condutividade eletrolítica e quantificação de analitos (cálcio, magnésio, fosfato, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal). O pH e a condutividade eletrolítica variaram dentro de intervalos específicos. Cálcio, magnésio e nitrato não foram detectados nas amostras. O fosfato foi encontrado em baixas concentrações, estando ausente em algumas amostras. A AC apresentou maior teor de nitrito em comparação à água deionizada (AD). Dentre os analitos avaliados, o nitrogênio amoniacal foi o que apresentou a maior concentração. O S_3 apresentou o melhor desempenho geral, removendo até 100% de fosfato e 95,81% de nitrito, além de reduzir significativamente o nitrogênio amoniacal (88,56%).

Palavras-chave: Tratamento de água. Aproveitamento. Condicionador de ar.

Resumo

Condensation water generated by air conditioners is a good alternative to the use of drinking water in water purification systems used in laboratories. The objective of this work was to evaluate the efficiency of removing inorganic contaminants from air conditioner condensation water, using alternative systems. Condensation water (CW) was treated in purification systems, whose performance was compared to a conventional reverse osmosis system with deionizer. Three alternative purification systems were made: S_1 is the polypropylene filter; S_2 is the polypropylene filter plus 102.00 g of zeolite; and S_3 is the polypropylene filter plus 90.00 g of mixed resin (50% cationic and 50% anionic). Each system was tested individually for the treatment of CW, with measurements of pH, electrical conductivity, and quantification of analytes (calcium, magnesium, phosphate, nitrite, nitrate, and ammoniacal nitrogen). The pH and electrical conductivity varied within specific ranges. Calcium, magnesium, and nitrate were not detected in the samples. Phosphate was found in low concentrations, being absent in some samples. CW showed a higher nitrite content compared to deionized water (DW). Among the analytes evaluated, ammoniacal nitrogen showed the highest concentration. S_3 showed the best overall performance, removing up to 100% of phosphate and 95.81% of nitrite, in addition to significantly reducing ammoniacal nitrogen (88.56%).

Keywords: Water treatment. Utilization. Air conditioning.

Sumário

1 Introdução

2 Materiais e métodos

2.1 Sistemas de purificação alternativos 2

2.2 Vazão dos sistemas de purificação 4

2.3 Variáveis físicas e químicas 4

3 Resultados e discussão

4 Conclusões

Referências

1. INTRODUÇÃO

1 **O** desenvolvimento de pesquisas científicas de qualidade de-
2 manda a utilização de água pura. Água de boa qualidade
3 para laboratórios pode ser obtida por meio da purificação da
4 água potável, através de processos de destilação ou osmose re-
5 versa com deionização. No entanto, a água de condensação ge-
6 rada em aparelhos de ar-condicionado pode ser uma boa alterna-
7 tiva ao uso da água potável, para uso em sistemas de purificação
8 em laboratório, contribuindo para a redução de gastos e repre-
sentando uma alternativa viável e sustentável de aproveitamento
deste recurso natural (Fadigas; Eça, 2024), além de contribuir

para a educação ambiental e conservação dos recursos hídricos (Rocha, 2017).

A água gerada em condicionadores de ar é, em geral, livre de substâncias químicas tóxicas (Rodrigues; Silva; Athayde Júnior, 2019; Viana; Alves; Marques, 2023), exibindo baixa condutividade eletrolítica ($13,3$ a $33 \mu\text{S cm}^{-1}$) (Souza; Rocha; Abreu; Moraes, 2016), baixos teores de sólidos totais dissolvidos (STD) (Union Equipamentos, 2023), ferro, manganês, dureza (Biotech, 2023) e de outras substâncias inorgânicas (Carvalho; Cunha; Faria, 2012; Castro Bolina; Rodrigues; Sardinha; Gomes; Félix; Silva; Amaral, 2017; Valentini; Lima; Zaque; Souza; Albano; Benevento, 2019), indicando ser vantajosa a sua purificação em sistemas de osmose reversa para posterior uso em atividades práticas rotineiras, sobretudo aquelas executadas em ambientes laboratoriais.

A água utilizada em determinações químicas e outras atividades laboratoriais tem sido classificada de diversas formas, conforme as exigências específicas de cada área de aplicação. A American Society for Testing and Materials (ASTM) e a International Organization for Standardization (ISO) definem padrões para a qualidade da água utilizada em laboratórios, categorizando-a em diferentes tipos, com base em sua pureza e aplicações específicas. Segundo a ASTM D1193-06 (2018), a água Tipo I possui uma condutividade inferior a $0,0555 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C , sendo considerada altamente pura e utilizada em aplicações analíticas críticas, como cromatografia e espectrometria. A água Tipo II apresenta uma condutividade de até $1,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C , o que a torna adequada para a maioria das análises químicas e procedimentos laboratoriais que não exigem água de alta pureza. Já a água Tipo III, com condutividade de até $0,25 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C , é utilizada para limpeza de vidrarias e procedimentos menos críticos. Por fim, a água Tipo IV, que tem condutividade de até $5,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C e pH variando entre $5,0$ e $8,0$, é usualmente empregada em lavagens gerais e em processos que não requerem elevada pureza.

Por sua vez, a International Organization for Standardization (ISO) (1987) classifica a água em graus. A água de Grau 1, com condutividade inferior a $0,1 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C , é considerada água ultrapura, ideal para técnicas analíticas de alta precisão e sensibilidade, como cromatografia líquida. A de Grau 2, com condutividade de até $1,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C , é indicada para análises sensíveis, como espectrometria de absorção atômica. A água de Grau 3, por sua vez, possui condutividade de até $5,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C e pH variando entre $5,0$ e $7,5$, sendo utilizada em aplicações que não demandam água de alta pureza, bem como para o preparo de soluções reagentes, lavagem de vidrarias, podendo ser utilizada para trabalhos analíticos comuns.

Sistemas alternativos de purificação de água têm se mostrado soluções eficazes, sustentáveis e de baixo custo, especialmente em contextos em que tecnologias convencionais, como osmose reversa ou destilação, são economicamente inviáveis ou tecnicamente limitadas. Dentre esses sistemas, destacam-se a troca iônica, amplamente empregada na remoção de íons específicos como cálcio, magnésio e nitrato; as zeólitas naturais, que atuam como trocadores iônicos e adsorventes para contaminantes como amônio e metais; e os filtros biológicos, como os de bioareia, que combinam filtração física e processos microbiológicos,

oferecendo bons resultados na redução de turbidez e patógenos (Zhou; Zhang; Hu, 2022; Chen *et al.*, 2021). Desse modo, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da remoção de contaminantes inorgânicos da água de condensação de aparelho de ar-condicionado, por sistemas de purificação alternativos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho com água de condensação (AC) de aparelho de ar-condicionado foi realizado no laboratório de Química Ambiental, situado no bloco R de laboratórios, do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), de Cruz das Almas, Bahia, no período de setembro de 2023 a outubro de 2024.

A AC foi obtida de um aparelho de ar-condicionado do tipo Split, com capacidade de refrigeração nominal de 24.000 BTU (British Thermal Units) e potência de 7.032 W (Watts), operando a uma temperatura média de 23°C . A AC foi drenada por uma mangueira corrugada de 20 mm de diâmetro e armazenada em um recipiente plástico, para tratamento em dois sistemas: um alternativo e outro convencional (osmose reversa com deionizador) da marca BIOTECH.

O purificador de osmose reversa com deionização foi composto de cinco estágios: filtro de polipropileno de 5 micra, filtro de carvão ativado de 5 micra, membrana de osmose reversa, cartucho de resina mista e tratamento ultravioleta, cujas características estão descritas em (Fadigas; Eça, 2024). A água purificada pelo sistema de osmose reversa constituiu a água deionizada (AD), a qual foi recolhida em um recipiente plástico e utilizada dentro de uma semana como amostra controle, para comparação com a água purificada nos sistemas alternativos (S_1 , S_2 e S_3), conforme descrito abaixo.

2.1. Sistemas de purificação alternativos


Os sistemas de purificação alternativos foram projetados e montados em três configurações distintas, seguindo a ordem indicada na Figura 1. Esses sistemas foram testados em sequência e separadamente, sendo a água submetida à cada um deles posteriormente utilizada na determinação de pH, condutividade eletrolítica e de alguns compostos inorgânicos (cálcio, magnésio, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e fosfato).



Os materiais utilizados para a montagem dos três sistemas alternativos de tratamento para a purificação de água estão descritos na Tabela 1. O custo total com os materiais não ultrapassou cem reais ($R\$100,00$), sendo em média de 10 a 30 vezes menor do que um aparelho de osmose reversa com deionização convencional disponível no mercado.

Tabela 1. Materiais utilizados para confecção dos sistemas de purificação de água

Materiais utilizados	Quantidade	Preço (R\$)
Filtro de polipropileno	1	41,00
Zeólita	102,00 g	12,00
Resina mista MB478	90,00 g	11,85
Vasilha plástica c/ tampa	1	25,00
Ponteira de borracha para pé de ca-deira	2	3,98

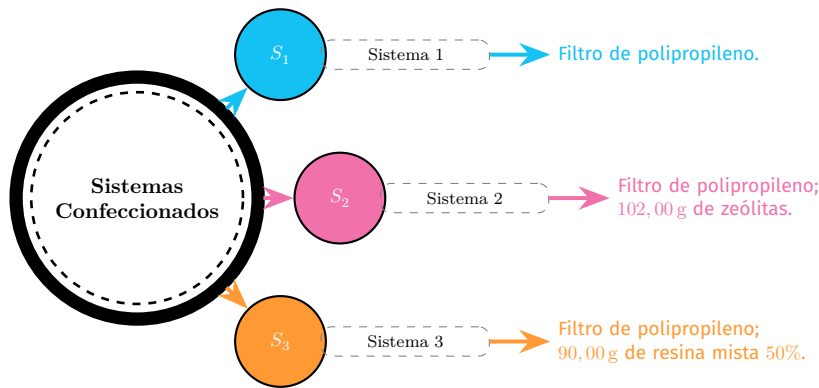
Previamente ao tratamento da água em cada um dos sistemas alternativos, o aparelho de ar-condicionado foi acionado por 20 minutos para permitir a ambientação da mangueira corrugada com a AC. A água passada por cada sistema foi analisada

* Gabriela Luz Batista  

* Gilmara Fernandes Eça.  

* Estes autores contribuíram igualmente para este trabalho.

Figura 1. Diagrama da composição dos três sistemas de purificação confeccionados.



Fonte: Autoras.

quimicamente para avaliar o percentual de remoção dos analitos em relação à AC, permitindo assim identificar qual configuração apresentaria o melhor desempenho.

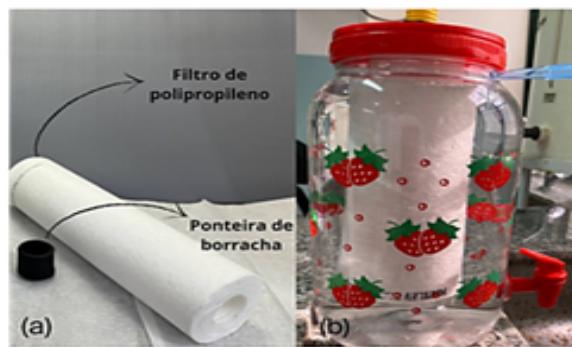
Figura 2. Conexão do dreno do aparelho de ar-condicionado ao sistema de purificação alternativo.



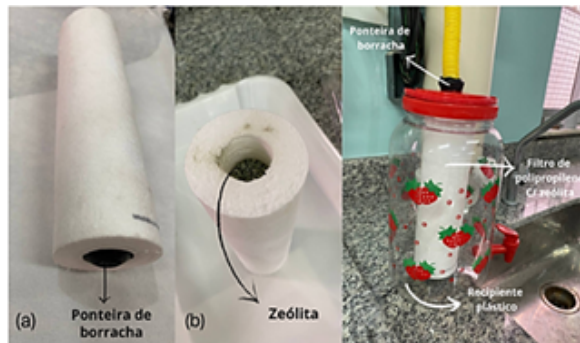
Fonte: Autoras.

Um recipiente plástico com capacidade para 3,5 L foi utilizado para o recolhimento da água tratada em cada uma das três configurações mencionadas na Figura 1. Para conectar a mangueira corrugada do aparelho de ar-condicionado ao recipiente plástico foi necessário fazer um pequeno furo na tampa do recipiente e acoplar a um filtro de polipropileno. Para garantir a vedação e evitar perdas ou vazamentos durante o processo de drenagem da AC, uma adaptação foi feita utilizando uma ponteira de borracha para pé de cadeira, de 9 milímetros de diâmetro, acoplada na parte inferior e superior do filtro de polipropileno, permitindo a conexão segura da mangueira com os sistemas. A água da mangueira corrugada foi direcionada para a parte central do filtro, saindo pelas suas laterais e caindo no recipiente de tampa vermelha. A Figura 2 mostra, de forma geral, a integração do sistema de drenagem do ar-condicionado com o purificador alternativo.

Figura 3. Sistemas de purificação alternativos montados em laboratório.



(a) Sistema 1



(b) Sistema 2



(c) Sistema 3

Fonte: Autoras.

É importante ressaltar que a água proveniente da primeira filtragem de cada sistema era descartada após o reservatório (vasilha plástica com tampa vermelha, na Figura 2) atingir sua capacidade máxima. Essa medida foi adotada para evitar que os resultados fossem comprometidos pela presença de possíveis resíduos, tais como poeira, substâncias químicas ou outros materiais presentes no filtro, antes de seu primeiro uso ou depois do seu uso sequencial dos itens comuns. Somente após efetuar a descontaminação, a AC era tratada e as alíquotas recolhidas para a análise química.

Para a montagem do S_1 (Figura 2 e Figura 3b) foi utilizado um filtro de polipropileno com 61 mm de diâmetro e 250 mm de comprimento, o qual foi cortado para se ajustar ao recipiente plástico, passando a ter 230 mm de comprimento. A amostra de água tratada foi coletada e posteriormente submetida à determinação do pH, da condutividade eletrolítica e da análise química dos analitos. Em seguida, o sistema foi desmontado e desinfetado com solução de hipoclorito de sódio comercial, por 5 minutos, visando à remoção de possíveis contaminantes. Após esse período, o filtro foi enxaguado com água deionizada para remover qualquer resíduo deixado pelo desinfetante utilizado. Após essas etapas, o filtro de polipropileno foi encaixado ao recipiente para a montagem do S_2 .

Para a construção do S_2 (Figura 3b) foram utilizados 102,00 g de zeólita dentro do mesmo filtro de polipropileno usado no S_1 . A massa de zeólita utilizada foi escolhida por ser suficiente para preencher o interior do filtro. As zeólitas foram lavadas, previamente, com água deionizada e secas em estufa sob temperatura de 80°C. Para impedir a saída da zeólita por baixo do filtro de polipropileno foi utilizada uma ponteira de borracha como vedação. Após a inserção da zeólita no interior do filtro, este foi instalado no recipiente plástico e conectado à mangueira, possibilitando a passagem da AC pelo sistema. A água tratada foi, então, coletada e submetida à determinação de pH, condutividade eletrolítica e análises químicas. Em seguida, o sistema foi desmontado e desinfetado novamente com hipoclorito de sódio e lavado com água deionizada para a montagem do S_3 .

O S_3 (Figura 3c) contou apenas com dois leitos filtrantes: o filtro de polipropileno e a resina mista. Para esse sistema foi adicionada a massa de 90,00 g da resina mista dentro do filtro de polipropileno. A massa de resina mista utilizada foi determinada de forma a preencher completamente o interior do filtro, garantindo o adequado contato da água com o material adsorvente durante o processo de purificação. A ideia de montar esse sistema está relacionada à sua simplicidade, devido ao menor volume com material filtrante ocupado dentro do recipiente de captação da água tratada.

2.2. Vazão dos sistemas de purificação

Para medir a vazão de cada sistema de tratamento confeccionado foi utilizado um béquer graduado, posicionado embaixo da torneira do recipiente de recolhimento da água tratada. Com o uso de um cronômetro, foi registrado o tempo necessário para coletar 2,5 litros de água. A vazão, portanto, foi calculada dividindo-se o volume coletado pelo tempo medido.

2.3. Variáveis físicas e químicas

A AC foi passada, separadamente, nos três sistemas de purificação alternativos dos quais foram recolhidas alíquotas previamente tratadas para a determinação dos analitos (cálcio, magnésio, fosfato, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal), do potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade eletrolítica. As determina-

ções para cada analito foram feitas em cinco réplicas, visando checar a precisão analítica.

Em todas as medidas de volume foram utilizadas micropipetas de volume variável, de modo que o volume total com cada réplica não ultrapassou 5,0 mL. Para efetuar as medidas espectrométricas foi utilizada uma cubeta plástica de 1 cm de caminho óptico e capacidade interna de 3,0 mL. As cubetas foram ambientadas com 1,0 mL a 1,5 mL de solução contendo analito, antes da leitura.

Amostras em branco, com o uso da AD, também foram adicionadas à batelada de análises químicas. Ao final das análises, os resíduos aquosos foram descartados em bombona plástica, para posterior tratamento.

Os dados obtidos com as análises foram tratados em planilhas do Microsoft Office Excel 2025. Os valores médios de concentração para cada analito, entre os diferentes sistemas de purificação foram comparados usando o **Test t Student** com índice de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

Os teores encontrados para os analitos na água purificada nos sistemas desenvolvidos foram comparados com os resultados obtidos para a AC sem tratamento e com a AD pelo sistema de osmose reversa, utilizada como amostra controle.

As determinações do pH nas amostras foram feitas com o uso de pHmetro de bancada (TECNOPON, Mpa-210), calibrado com padrões de pH 4,0 e 7,0. A condutividade eletrolítica foi determinada usando aparelho de bancada (TECNOPON, Mca 150), calibrado com solução padrão de 146,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Para determinação da concentração de nitrogênio amoniacal foi utilizado o método do Salicilato, de Krom (1980), no qual a amônia reage com o hipoclorito, formando a monocloramina, que reage em seguida com o salicilato em presença do nitroprusiato, formando uma substância cromática de cor verde esmeralda, detectada por espectrofotometria a 700 nm. A concentração do analito foi obtida com base na curva de calibração preparada por diluição a partir de uma solução de cloreto de amônio de 525 mg L^{-1} , na seguinte faixa de concentração: 0,0 mg L^{-1} ; 0,1 mg L^{-1} ; 0,3 mg L^{-1} ; 0,5 mg L^{-1} ; 1,0 mg L^{-1} ; 2,0 mg L^{-1} e 5,0 mg L^{-1} .

Para o nitrito (NO_2^-) foi utilizado o método modificado por Grasshoff, Kremling e Ehhhardt (1999). A sua determinação foi feita com base na reação do íon NO_2^- com duas soluções reagentes (sulfanilamida e *n*-naftiletilediamina). Já o nitrato (NO_3^-), foi determinado seguindo o método usado por Schnetger e Lehnert (2014), em que se efetua a redução do nitrato a nitrito, após reação com solução de cloreto de vanádio III (VCl_3). A curva de calibração utilizada para o nitrito e nitrato consistiu de 5 soluções preparadas com concentrações diferentes: 0,00 mg L^{-1} ; 0,03 mg L^{-1} ; 0,08 mg L^{-1} ; 0,10 mg L^{-1} ; 0,15 mg L^{-1} e 0,20 mg L^{-1} .

O método utilizado para a determinação de fosfato foi uma modificação feita por Grasshoff, Kremling e Ehhhardt (1999), a partir do método proposto por Murphy e Riley (1962). Esse método baseia-se na reação de íons fosfato com o reagente molibdato em meio ácido, para formar o fosfomolibdato, que então é reduzido para um composto colorido azul, determinado por espectrofotometria a 880 nm. A concentração de fosfato foi obtida com base na curva de calibração preparada a partir da diluição de uma solução de dihidrogenofosfato de potássio de 1.361 mg L^{-1} , obtendo-se as seguintes concentrações: 0,00 mg L^{-1} ; 0,03 mg L^{-1} ; 0,08 mg L^{-1} ; 0,10 mg L^{-1} ;

0, 15 mg L⁻¹ e 0, 20 mg L⁻¹.

As determinações de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) foram realizadas com base na técnica de titrimetria de complexação (Vogel; Mendham; Denney; Barnes; Thomas, 2002). Esta técnica consiste na titulação com a solução de EDTA (ácido etilendiaminotetracético) na presença de indicadores metalocromáticos. Para a determinação do cálcio, foi utilizada a solução de hidróxido de sódio ($NaOH$) com o objetivo de ajustar o pH para 12,0, bem como o indicador químico murexida. A titulação com EDTA foi feita até a mudança de coloração do rosa para roxo. Posteriormente, foi feita a determinação de cálcio e magnésio juntos, ajustando o pH em 10,0, com uma solução tampão. Foi utilizado o indicador Negro de Eriocromo-T, para sinalizar o ponto final da reação pela mudança da coloração vermelho-vinho para o azul. A concentração de magnésio foi obtida por diferença entre o valor total de cálcio e magnésio e o valor previamente determinado apenas para o cálcio, conforme o procedimento descrito anteriormente.

Os Limites de Detecção (LD) e de Quantificação (LQ) foram determinados apenas para fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. Para cálcio e magnésio, entretanto, não foi possível calcular LD e LQ , uma vez que as amostras em branco apresentaram, desde o início, a coloração característica do ponto de viragem (roxo para cálcio e azul para magnésio) na presença dos indicadores. Mesmo após a titulação, não houve alteração da cor, indicando a ausência de cálcio e magnésio em concentrações detectáveis pelo método empregado. Para os demais analitos, as curvas de calibração foram empregadas em uma análise de regressão para o cálculo de resíduos, com nível de confiança de 95%. A análise de regressão foi utilizada para calcular o erro padrão do intercepto (EpI) da curva analítica e o desvio padrão do intercepto (DpI), obtido pela multiplicação de EpI pela raiz quadrada do número de pontos da curva. A partir desses parâmetros determinaram-se LD e LQ , conforme as Equações (1) e (2).

$$LD = \frac{3,3 \cdot DpI}{\alpha} \quad (1)$$

$$LQ = \frac{10,0 \cdot DpI}{\alpha} \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de vazão da água percolada em cada sistema de filtragem encontram-se apresentados na Tabela 2.

Com base nos resultados de vazão (Tabela 2), com exceção da AC, observou-se que o sistema de purificação que apresentou o maior volume de água filtrada em um período de 1 hora de tratamento foi o S_1 , que foi composto por apenas um material filtrante, o polipropileno.

O S_2 , composto por filtro tubular de polipropileno e zeólita em seu interior, apresentou a menor vazão, com valor bastante próximo à vazão observada no S_3 . A presença de um maior número de elementos filtrantes implica em uma maior área de superfície ocupada no interior do sistema. Essa configuração, seguindo os princípios da Lei de Darcy, resulta em maior fricção e resistência ao fluxo, reduzindo a vazão (Rosti; Pramanik; Brandt; Mitra, 2020). Deste modo, o fluido encontra mais obstáculos para passar através do sistema de purificação. Além disso, a variação na vazão da água de condensação proveniente do condicionador de ar pode influenciar os resultados obtidos, uma vez que variações no volume de água produzida pelo aparelho afetam diretamente o rendimento do sistema de purificação.

Tabela 2. Medidas da vazão da água sem purificação (AC) e purificada em cada sistema de tratamento (S_1 , S_2 e S_3)

Composição do sistema de purificação	Código	Vazão (Lh ⁻¹)
Água de Condensação	AC	4,53
Filtro de Polipropileno	S_1	3,90
Filtro de Polipropileno + 102,00 g zeólita	S_2	3,13
Filtro de Polipropileno + 90,00 g resina mista	S_3	3,30

Sousa, Rocha, Abreu e Moraes (2016) destacam que a quantidade de água de condensação não está diretamente proporcional apenas à potência do condicionador de ar, mas também, ao nível de umidade presente, ao tamanho da área construída e à circulação de pessoas no local. Esses fatores podem contribuir para um aumento na temperatura do ambiente refrigerado, elevando assim a carga de trabalho do dispositivo, interferindo no volume de água produzido. De acordo com Lima, Zaue, Valentini, Souza e Albano (2015), aparelhos do tipo Split com capacidade de 24.000 BTU's apresentam vazões em torno de 2 litros por hora, para uma umidade relativa em torno de 15% e de 5 litros por hora, para umidade relativa em torno de 60%, se assemelhando ao valor encontrado nesta pesquisa para a AC.

De modo geral, o pH e a condutividade variaram de acordo com o tipo de material utilizado na purificação. O pH variou de 5,53 na AD a 6,92 na água percolada através do S_2 . Os valores de condutividade variaram de 3,47 $\mu S cm^{-1}$ na água produzida no S_3 a 20,20 $\mu S cm^{-1}$ na AC (sem tratamento). Os valores de pH e condutividade estão descritos na Tabela 3. O S_3 apresentou valores próximos daqueles encontrados para a AD.

Os valores encontrados nesta pesquisa estão dentro da faixa obtida por outros pesquisadores, para o pH e a condutividade eletrolítica (6,68 – 7,79 $\mu S cm^{-1}$ e 10,1 – 70,0 $\mu S cm^{-1}$, respectivamente) da água gerada em condensadores de ar (Cunha; Ozório; Pires; Almeida; Melo; Willian, 2015; Carvalho; Cunha; Faria, 2012; Nóbrega, 2015). Segundo Sousa, Rocha, Abreu e Moraes (2016), a condutividade pode variar em função da quantidade de sais dissolvidos, ou seja, um maior teor de íons dissolvidos implica no aumento da condutividade da água.

As normas (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2018) e (International Organization for Standardization (ISO), 1987) estabelecem parâmetros específicos para a qualidade da água utilizada em laboratórios, porém, não determinam valores exatos de pH para determinados tipos de água purificada. A água ultrapura (Tipo I), por exemplo, pode apresentar pH instável, em razão de sua baixa condutividade eletrolítica e da rápida absorção de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera. Por outro lado, águas purificadas classificadas como Tipo IV e Grau III, geralmente obtidas por meio de deionização ou destilação, tendem a apresentar pH próximo ao neutro, com variações típicas entre 5,0 e 8,0. No presente estudo, todas as amostras de água geradas pelos sistemas desenvolvidos (S_1 , S_2 e S_3) apresentaram valores de pH dentro dessa faixa.

Em relação à condutividade eletrolítica, conforme as diretrizes estabelecidas pelas normas mencionadas anteriormente, os valores aceitáveis variam de acordo com o grau de pureza da água. Para água Tipo I (ASTM) e Grau I (ISO), os limites são, respectivamente, 0,0555 $\mu S cm^{-1}$ e 0,1 $\mu S cm^{-1}$. Para água Tipo II e Grau II, os valores devem ser inferiores a 1,0 $\mu S cm^{-1}$; para Tipo III, inferiores a 0,25 $\mu S cm^{-1}$; e para Tipo IV e Grau III, inferiores a 5,0 $\mu S cm^{-1}$. Com base nesses critérios, verifica-se que apenas o S_3 produziu água com condutividade compatível com os padrões estabelecidos para Tipo IV (segundo a ASTM)

Tabela 3. Medidas de pH e condutividade eletrolítica (CE) das amostras de água de condensação (com e sem tratamento)

Amostras	Código	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Água deionizada (amostra controle) do aparelho de osmose reversa*	AD	5,53	3,93
Água de condensação (sem tratamento)*	AC	6,44	20,20
AC filtrada pelo S_1 (filtro de polipropileno)	S_1	5,71	16,30
AC filtrada pelo S_2 (filtro de polipropileno + 102 g zeólita)	S_2	6,92	11,50
AC filtrada pelo S_3 (filtro de polipropileno + 90 g resina mista)	S_3	5,79	3,47

* Amostras utilizadas para fins comparativos

e Grau III (de acordo com a ISO). A água classificada nesses padrões é geralmente indicada para aplicações laboratoriais básicas, como limpeza de vidrarias e preparação de soluções químicas que não demandam elevado grau de pureza (perfil compatível com as exigências dos analitos avaliados neste estudo).

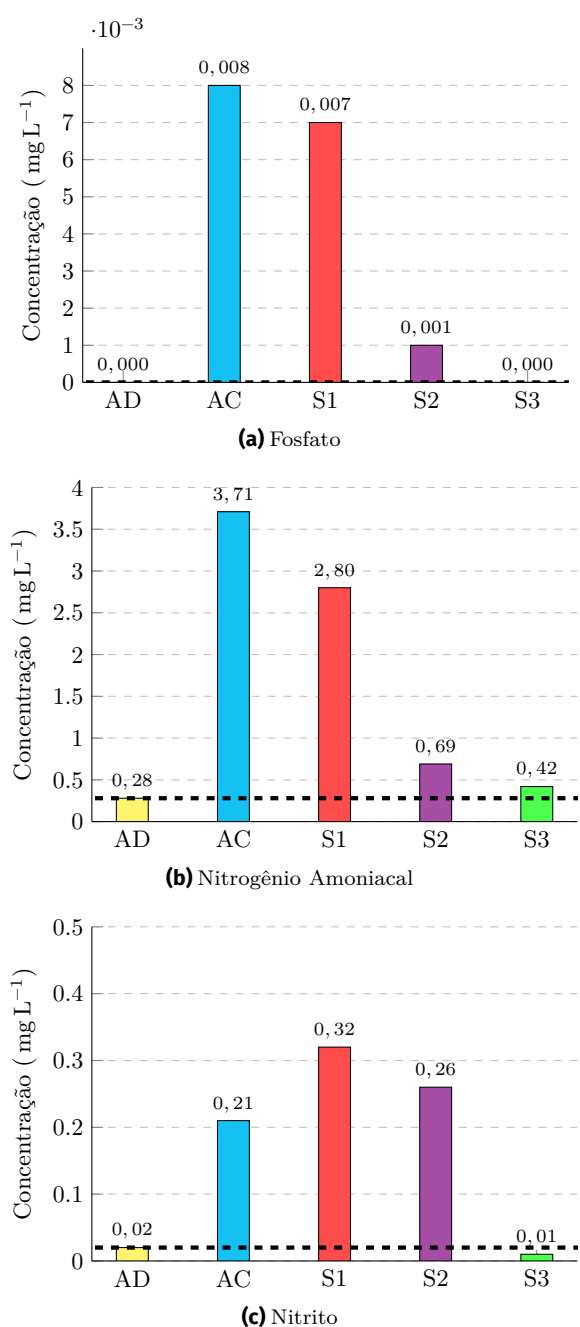
De modo geral, conforme apresentado na Tabela 3, observa-se que os três sistemas alternativos promoveram a redução da condutividade eletrolítica da AC em diferentes proporções, refletindo variações na eficiência de remoção de íons dissolvidos. O S_1 apresentou a menor eficiência, com uma redução de 19,31%, seguido pelo S_2 , que atingiu 43,07%, sendo o S_3 mais eficiente, com uma redução de 82,82% na condutividade eletrolítica, demonstrando maior capacidade de purificação da água.

A literatura relata que a água de condensação de aparelhos de ar-condicionado, além de possuir um baixo teor de sais e condutividade eletrolítica em relação à água potável fornecida pelas redes públicas de abastecimento (Fadigas; Eça, 2024), podem conter baixas concentrações de compostos inorgânicos dissolvidos (Rodrigues; Silva; Athayde Júnior, 2019; Castro Bolina; Rodrigues; Sardinha; Gomes; Félix; Silva; Amaral, 2017; Valentini; Lima; Zaqu; Souza; Albano; Benevento, 2019). Isso sugere a possibilidade de obter água purificada em sistemas de tratamento simplificados, com uso de filtro de polipropileno e resina mista, em relação ao sistema convencional de multiestágios empregado na purificação de água potável. Todavia, devem ser considerados conjuntamente a presença e as concentrações de diversos analitos, como discutido a seguir.

Para o Ca^{2+} e Mg^{2+} não foram detectadas concentrações nas amostras avaliadas (AD, AC, S_1 , S_2 e S_3). Esses resultados foram consistentes com o estudo de Kumar, Tiwari, Agarwal e Srivastava (2023), os quais indicaram ausência de cálcio e magnésio na água de condensação, apresentando valores semelhantes aos encontrados na água destilada. A água de condensação proveniente de aparelhos de ar-condicionado é basicamente água destilada de origem atmosférica, o que significa que ela atravessa apenas o vapor de ar e não interage com solos ou rochas (as principais fontes de Ca^{2+} e Mg^{2+}) resultando em concentrações naturalmente muito baixas desses íons (Scalizer; Soares; Alves; Marques; Mesquita; Ballaminut; Albuquerque, 2018).

O nitrato se comportou de maneira semelhante ao cálcio e magnésio, sendo encontradas concentrações abaixo do LD ($0,037 \text{ mg L}^{-1}$) e LQ ($0,11 \text{ mg L}^{-1}$), tanto na AC e AD como nas demais amostras tratadas pelos sistemas alternativos. A ausência de NO_3^- na água de condensação gerada por aparelhos de ar-condicionado está diretamente relacionada à sua origem, uma vez que se trata de vapor atmosférico condensado, que não interage com o solo, fontes de esgoto, resíduos agrícolas ou outras fontes comuns de contaminação nitrogenada. Por não haver esse contato, a água formada apresenta naturalmente baixos teores de nitrato. Além disso, estudos realizados com amostras de água condensada em sistemas de climatização demonstram que as concentrações de nitrato são frequentemente nulas ou

inferiores aos limites de detecção analítica, evidenciando sua ausência significativa na composição dessa água (Rodrigues; Silva; Athayde Júnior, 2019).

Figura 4. Concentração dos analitos nas amostras - (a) Fosfato. (b) Nitrogênio amoniacal e (c) Nitrito. A linha tracejada representa o valor da amostra controle (AD).

Fonte: Autoras.

As concentrações de fosfato nas águas obtidas a partir dos diferentes sistemas alternativos de purificação foram muito baixas (Figura 4a), variando desde não detectado na AD e no S_3 até $0,008 \text{ mg L}^{-1}$ na AC, estando abaixo do LD ($0,019 \text{ mg L}^{-1}$) e LQ ($0,058 \text{ mg L}^{-1}$). O S_1 apresentou concentração de fosfato semelhante à observada na AC, indicando que o filtro de polipropileno, isoladamente, não é eficaz na remoção desse composto. Isso se deve ao fato de que esse tipo de filtro atua predominantemente como uma barreira mecânica, sendo projetado para reter apenas partículas sólidas em suspensão. Os S_2 e S_3 removeram cerca de 83,33% e 100%, respectivamente, do fosfato presente na AC, demonstrando elevada eficiência das zeólitas e da resina mista no processo de remoção deste analito, principalmente o S_3 .

Dentre os analitos avaliados, o nitrogênio amoniacal Figura 4b foi o único analito detectado em maior concentração nas amostras. A AC exibiu concentração de nitrogênio amoniacal ($3,71 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$) maior que LD ($0,18 \text{ mg L}^{-1}$) e LQ ($0,56 \text{ mg L}^{-1}$), sendo 13 vezes maior em comparação com a AD ($0,280 \pm 0,006 \text{ mg L}^{-1}$). A água tratada pelo sistema S_3 exibiu concentração ($0,42 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$), que foi menor que LQ . No entanto, o valor encontrado na AC foi semelhante aos reportados na literatura por Valentini, Lima, Zaque, Souza, Albano e Benevento (2019) e Lima, Zaque, Valentini, Souza e Albano (2015), cujos dados variaram entre $0,28 \text{ mg L}^{-1}$ e $2,97 \text{ mg L}^{-1}$.

O S_1 conseguiu remover apenas 24,52% de nitrogênio amoniacal da AC, o que pode estar associado ao fato de o filtro de polipropileno ser projetado para remover especificamente partículas sólidas, como sujeira e sedimentos, não sendo específico para a remoção de compostos químicos, como o nitrogênio amoniacal, do mesmo modo que o fosfato. A eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal pelo S_2 foi de 81,51% e muito superior comparado ao do S_1 . Nas zeólitas, a troca iônica ocorre nos sítios de troca do mineral onde se localizam os cátions compensadores de carga. Quando esse mineral entra em contato com uma solução eletrolítica, os cátions presentes na estrutura são removidos dos sítios e trocados por outros da solução (Pabalan; Bertetti, 2001). Já o S_3 demonstrou uma ótima eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal, removendo 88,56% deste analito da AC.

Até o momento, não há estudo publicado que explique a presença de nitrogênio amoniacal na água de condensação de condicionadores de ar. No entanto, pesquisadores relatam que em água parada, como a que é gerada em aparelho de ar-condicionado, é formada uma espécie de biofilme, onde se desenvolvem diversos tipos de microrganismos, tais como bactérias, fungos, vírus e cianobactérias (Vital, 2019; Ferreira, 2022). As cianobactérias, por exemplo, possuem a capacidade de fixar o nitrogênio do ar (Shridhar, 2012; Potnis; Raghavan; Rajaram, 2021), o que poderia explicar a concentração deste analito na AC. A presença de nitrogênio amoniacal na água pode favorecer o processo de nitrificação, segundo o qual alguns tipos de bactérias podem transformar o nitrogênio amoniacal em nitrito e nitrato. Neste trabalho, o nitrito apresentou concentração mais elevada que o nitrato. Entretanto, não é possível confirmar a ocorrência do processo de nitrificação, uma vez que não foram conduzidos experimentos específicos para sua verificação.

A concentração de nitrito obtida na AC foi de $0,213 \pm 0,004 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 4c) e de $0,0179 \pm 0,0002 \text{ mg L}^{-1}$ na AD. A concentração de nitrito na AD foi bem próxima do valor de LD ($0,015 \text{ mg L}^{-1}$), mas, abaixo de LQ ($0,044 \text{ mg L}^{-1}$). As amostras de AC percoladas através do S_1 e S_2 apresentaram aumento de íons nitrito, com as concentrações de $0,324 \pm 0,005 \text{ mg L}^{-1}$ e

$0,264 \pm 0,004 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Em contrapartida, a concentração de nitrito após tratamento pelo S_3 foi de $0,0089 \pm 0,0001 \text{ mg L}^{-1}$, estando abaixo de LD e LQ , exibindo um percentual de remoção de 95,81%. A concentração de nitrito na amostra AC foi compatível com os valores observados por Valentini, Lima, Zaque, Souza, Albano e Benevento (2019), os quais variaram entre $0,23 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,58 \text{ mg L}^{-1}$. O nitrogênio na forma de nitrito representa um estado intermediário entre o nitrogênio amoniacal e o nitrato. A produção de nitrato (a forma mais estável do nitrogênio) ocorre por meio da oxidação bacteriana do nitrogênio amoniacal, tendo o nitrito como composto intermediário nesse processo. Concentrações elevadas de nitrito podem indicar intensa atividade bacteriana e deficiência de oxigênio no meio (Baumgarten; Pozza, 2001; Pereira, 2004).

A aplicação do teste t de Student para comparação entre a amostra de referência (AD) e as demais amostras (AC, S_1 , S_2 e S_3) resultou em valores de p bi-caudal inferiores a 0,05 em todas as análises. Esses resultados indicam a existência de diferenças estatisticamente significativas entre a amostra AD e as demais, permitindo a rejeição da hipótese nula de igualdade entre as médias. Dessa forma, infere-se que os tratamentos empregados na purificação da água no S_1 a S_3 exerceram influência significativa sobre os parâmetros avaliados em relação à amostra AD. No entanto, embora tenham sido observadas diferenças entre as médias de cada variável analisada, o S_3 apresentou, de forma geral, a maior eficiência na remoção dos analitos.

Nesta pesquisa foram usados 90,00 g de resina mista no compartimento interno do filtro de polipropileno do S_3 (sistema que apresentou melhor eficiência de remoção dos analitos), que é 5,5 vezes menor que a quantidade utilizada em cartuchos de aparelhos de osmose reversa convencionais (em torno de 500,00 g). Os fabricantes, de modo geral, recomendam a troca do material filtrante de cada cartucho a cada 6 meses a 1 ano de uso, de acordo com a qualidade da água de entrada no sistema de purificação, que deve possuir uma condutividade eletrolítica máxima em torno de $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Biotech, 2023; Tecnal, 2023).

Apesar dos resultados promissores observados na aplicação do S_3 , destaca-se a importância de estudos de longa duração para a validação definitiva de sua eficiência. Avaliações preliminares podem indicar bom desempenho na remoção de contaminantes e na melhoria da qualidade da água de condensação. Contudo, fatores como a saturação da resina, possíveis alterações na estrutura do material filtrante e a ocorrência de contaminações secundárias ao longo do tempo precisam ser monitorados de forma contínua. Além disso, o comportamento do sistema sob diferentes condições operacionais e ambientais deve ser considerado para garantir a consistência dos resultados. Portanto, ensaios de longa duração são essenciais para estabelecer a vida útil do sistema, sua estabilidade e a frequência ideal de substituição dos componentes, contribuindo assim para a consolidação de sua aplicação em contextos práticos e sustentáveis.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou a eficiência de diferentes sistemas alternativos de purificação na remoção de contaminantes da água de condensação, proveniente de aparelho de ar-condicionado. Os sistemas desenvolvidos para a purificação da água de condensação demonstraram certa eficácia, especialmente na remoção de nitrogênio amoniacal, presente em alta concentração na AC, em comparação com valores encontrados na AD.

A utilização combinada de filtro de polipropileno e resina

mista, em geral, mostrou melhor performance na eliminação de contaminantes da água de condensação, alcançando níveis desses analitos semelhantes aos encontrados na AD utilizada em procedimentos laboratoriais acadêmicos. Dos sistemas de purificação avaliados, a combinação de filtro de polipropileno e resina mista foi a única a apresentar condutividade eletrolítica compatível com a água tipo IV e Grau 3, segundo as normas ASTM D1193-06 e ISO 3696. Portanto, a princípio, a montagem e utilização desse sistema pode ser uma opção a ser utilizada na purificação de água de condensação para uso em procedimentos laboratoriais de caráter didático, como a lavagem de vidrarias.

Recomenda-se que, em futuras pesquisas, sejam realizadas análises de outros indicadores de qualidade como a presença de bactérias, teores de sílica, coloides, Carbono Orgânico Total (TOC) e teor de oxigênio dissolvido na água de condensação de aparelhos de ar-condicionado, a fim de compreender melhor as características desse tipo de água e seus potenciais usos após a purificação.

■ AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela bolsa concedida, por meio do processo 084.0508.2023.0002742-17, para a realização desta pesquisa. As autoras também agradecem à UFRB pela infraestrutura dos laboratórios, além do suporte com equipamentos e reagentes químicos.

■ REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard Specification for Reagent Water**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018. Citado na p. 5.
- BAUMGARTEN, M. G.; POZZA, S. A. **Qualidade de águas. Descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**. Rio Grande: Ed. FURG, 2001. p. 166. Citado na p. 7.
- BIOTECH. **Purificador de Água Osmose Reversa BT 701/10/6**. 2023. Disponível em: http://www.biothec.com.br/p-8381910-Purificador-de-Agua-Osmose-Reversa-BT-701_10_6. Acesso em: 5 abr. 2025. Citado nas pp. 2, 7.
- CARVALHO, M. T. C.; CUNHA, S. O.; FARIA, R. A. P. G. **Caracterização quali-quantitativa da água da condensadora de aparelhos de ar condicionado**. Cuiabá, MT, 2012. Citado nas pp. 2, 5.
- CASTRO BOLINA, C.; RODRIGUES, A. L.; SARDINHA, G. O. M.; GOMES, M. I. L.; FÉLIX, M. V.; SILVA, C. M. da; AMARAL, F. L. Aproveitamento da água proveniente do processo de condensação de aparelhos de ar condicionado em prédio público. **Renefara**, v. 12, n. 12, p. 14–27, 2017. Disponível em: <https://sipe.uniaraaguaia.edu.br/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/view/614>. Acesso em: 5 abr. 2025. Citado nas pp. 2, 6.
- CHEN, W. *et al.* Hybrid water treatment systems combining adsorption and filtration for small-scale applications. **Water Research**, 2021. Citado na p. 2.
- CUNHA, J. A. O.; OZÓRIO, C. V. de L.; PIRES, R. B.; ALMEIDA, J. V. de; MELO, I. E.; WILLIAN, P. Aparelhos de ar condicionados para uma proposta de reúso direto no IFCE-Campus Quixadá. p. 1–10. [S. l.], 2015. Citado na p. 5.
- FADIGAS, F. S.; EÇA, G. F. Purificação de água de condensação de ar-condicionado para uso em laboratório. In: ANDRADE; BATISTA, Jaily Kerler (ed.). **Pesquisas e inovações em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande (PB): Editora Licuri, 2024. cap. 3, p. 32–44. DOI: 10.58203/Licuri.22183. Citado nas pp. 1, 2, 6.
- FERREIRA, N. M. **Legionella pneumophila e cianobactérias: uma possível relação?** 2022. f. 60. Mestrado – Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Lisboa, Portugal. Citado na p. 7.
- GRASSHOFF, Klaus; KREMLING, Klaus; EHHHARDT, Manfred. **Methods of Seawater Analysis**. Alemanha: WILEY-VCH, 1999. p. 632. Citado na p. 4.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **Water for analytical laboratory use; Specification and test methods**. Geneva, Switzerland: ISO, 1987. Citado nas pp. 2, 5.
- KROM, M. D. Spectrophotometric determination of ammonia: a study of a modified Berthelot reaction using salicylate and dichloroisocyanurate. **Analyst**, v. 105, n. 1249, p. 305–316, 1980. DOI: 10.1039/AN9800500305. Citado na p. 4.
- KUMAR, D.; TIWARI, A.; AGARWAL, V.; SRIVASTAVA, K. Investigation of atmospheric water vapour condensation and characteristic analysis as potable water. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 20, n. 5, p. 4905–4918, 2023. Citado na p. 6.
- LIMA, S. M.; ZAQUE, R. A. M.; VALENTINI, C. M. A.; SOUZA, F. S. C.; ALBANO, P. M. F. Água de ar-condicionado: uma fonte alternativa de água potável? In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre/RS: [s. n.], 2015. Citado nas pp. 5, 7.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31–36, 1962. Citado na p. 4.
- NÓBREGRA, J. M. S. **Água residual de condensadores de ar: perspectiva de substituição à água destilada para uso em laboratórios**. 2015. f. 35. Monografia de Graduação – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Patos. Citado na p. 5.
- PABALAN, R. T.; BERTETTI, F. P. Cation-exchange properties of natural zeolites. In: BISH, D. L.; MING, D. W. (ed.). **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**. [S. l.]: Mineralogical Society of America, 2001. v. 45. p. 453–518. Citado na p. 7.
- PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v. 1, n. 1, p. 20–36, 2004. Citado na p. 7.
- POTNIS, A. A.; RAGHAVAN, P. S.; RAJARAM, H. Overview on cyanobacterial exopolysaccharides and biofilms: role in

bioremediation. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 20, n. 3, p. 781–794, 2021. Citado na p. 7.

ROCHA, Débora Patrícia Batista da. **Sistema de reuso de água proveniente de aparelhos de ar condicionados para fins não potáveis: estudo de caso aplicado ao Centro de Tecnologia da UFRN**. 2017. f. 19. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Citado na p. 2.

RODRIGUES, J. O. N.; SILVA, T. C.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B. Análise quali-quantitativa da água condensada gerada por aparelhos de ar-condicionado. **Gesta**, v. 7, n. 2, p. 160–174, 2019. DOI: [10.9771/gesta.v7i2.30779](https://doi.org/10.9771/gesta.v7i2.30779). Citado nas pp. 2, 6.

ROSTI, Marco Enrico; PRAMANIK, Subhrajit; BRANDT, Luca; MITRA, Deepanjan. The breakdown of Darcy's law in a soft porous material. **Soft Matter**, v. 16, p. 939–944, 2020. Citado na p. 5.

SCALIZE, P. S.; SOARES, S. S.; ALVES, A. C. F.; MARQUES, T. A.; MESQUITA, G. G. M.; BALLAMINUT, N.; ALBUQUERQUE, A. C. J. Use Of Condensed Water From Air Conditioning Systems. **Open Engineering**, v. 8, n. 1, p. 284–292, 2018. Citado na p. 6.

SCHNETGER, Bernhard; LEHNERS, Carola. Determination of nitrate plus nitrite in small volume marine water samples using vanadium (III) chloride as a reduction agent. **Marine Chemistry**, Elsevier, v. 160, p. 91–98, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.01.010>. Citado na p. 4.

SHRIDHAR, B. S. **Nitrogen fixing microorganisms**. 2012. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45384507/9-libre.pdf?1462475655=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DReview_Nitrogen_Fixing_Microorganisms.pdf&Expires=1745423775&Signature=I60KaTiGb5~HUOoRGu9B7LewoLhd-fFsAnEY9syqU6wBk9ujz8BFwujkJgS9SHvHPYGBXPRn2A6dzi0AUJu2Nxppf2z4IMomG6uRfD4OTO3qRVA15E6d5mGpa90MptUINgzTPMifS4ztCV1zwG-sa4S33FZDnPCyIXGAuT0oSe24j2w8ci276Gw1luXN1YigocYvHx7W1N6Ct-oY30AQEheTocY1RO9kVhoKqKHMYSaoTk5-AgCMvvFv1ufWaS1WOudlWoqS-nXJMFelwTu9F-PU9paTld2CcXrMD0mduvOK8SsG0bOikpo1vZkmAfcgKtxe0kwfs7KD9ZIUbfkWA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 5 abr. 2025. Citado na p. 7.

SOUSA, R. E. B.; ROCHA, C. M. S.; ABREU, F. O. M. S.; MORAES, S. G. Caracterização físico-química e microbiológica das águas condensadas de aparelhos de ar-condicionado visando potencial reutilização. **Revista Tecnologia**, v. 37, n. 1, p. 37–54, 2016. DOI: [10.5020/23180730.2016.V37.1/2.37-54](https://doi.org/10.5020/23180730.2016.V37.1/2.37-54). Citado nas pp. 2, 5.

TECNAL. **Tipos de água utilizados no laboratório e principais aplicações**. 2023. Disponível em: https://tecnal.com.br/pt-R/blog/317_tipos_de_agua_utilizados_no_laboratorio_e_principais_aplicacoes. Acesso em: 5 abr. 2025. Citado na p. 7.

UNION EQUIPAMENTOS. **Sistema de osmose reversa laboratorial**. 2023. Disponível em: <https://union.ind.br/sistema-de-osmose-reversa-laborato>. Acesso em: 5 abr. 2025. Citado na p. 2.

VALENTINI, C. M. A.; LIMA, S. M.; ZAQUE, R. A. M.; SOUZA, F. S. C. de; ALBANO, P. M. F.; BENEVENTO, G. P. Água de beber: um olhar sobre a possibilidade do reuso da água de ar-condicionado para fins potáveis. **Biodiversidade**, v. 18, n. 3, p. 2–36, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/9401>. Acesso em: 5 abr. 2025. Citado nas pp. 2, 6, 7.

VIANA, D. F.; ALVES, I. C. B.; MARQUES, P. R. B. O. Avaliação físico-química da água de condensação para fins de reaproveitamento: um estudo de caso na Universidade Federal do Maranhão. **Revista Brasileira de Iniciação Científica (RBIC)**, v. 10, p. 1–29, 2023. Citado na p. 2.

VITAL, I. F. D. **Deteção, identificação e quantificação de Legionella spp. em amostras de água: comparação da técnica de PCR-RT com o Método Cultural**. 2019. f. 65. Relatório de Mestrado – Instituto Politécnico de Coimbra, Escola Superior Agrária, Coimbra, Portugal. Citado na p. 7.

VOGEL, A. I.; MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, M. J. K. **Análise Química Quantitativa**. 6. ed. [S. l.]: Editora LTC, 2002. p. 488. Citado na p. 5.

ZHOU, Y.; ZHANG, Y.; HU, X. Adsorption of heavy metals from water using activated carbon. **Environmental Science and Pollution Research**, 2022. Citado na p. 2.