

REMOÇÃO DE METAIS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Ramona Rodrigues Amaro de Oliveira¹, Adler Lincoln Severiano da Silva²,
Rafael Oliveira Batista³, Ayslan do Nascimento Fernandes⁴, Pedro Victor Tavares Firmino da
Silva⁵, Maurício Vinícius Rodrigues⁴

RESUMO: O reúso de águas cinzas na agricultura semiárida é uma alternativa promissora para ampliar a oferta hídrica e reaproveitar nutrientes, mas requer atenção quanto a presença de metais pesados. Objetivou-se com este estudo verificar o desempenho de uma estação compacta de tratamento de águas cinzas, com foco na remoção de micronutrientes e metais pesados, visando o reúso seguro na agricultura. A pesquisa foi realizada na área experimental do CEMAS/UFERSA, em Mossoró-RN, durante os meses de julho a outubro de 2018. Foram coletadas amostras no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta (ERU) para as análises dos micronutrientes e metais de Cu, Mn, Fe, Ni, Zn, Pb, Cd e Cr. Os resultados indicaram que as concentrações dos elementos químicos estão de acordo com as normas de irrigação. O Fe foi o micronutriente mais concentrado no efluente tratado, enquanto o Pb destacou-se como o metal pesado predominante. O sistema apresentou boa eficiência na remoção de Mn, Ni e Zn. A estação compacta mostrou-se eficaz no reúso agrícola, mas exige monitoramento da água e do solo para evitar toxicidade.

PALAVRAS-CHAVE: águas residuárias, irrigação agrícola, tratamentos de efluentes.

METAL REMOVAL IN A GREYWATER TREATMENT PLANT IN THE POTIGUAR SEMI-ARID REGION

ABSTRACT: The reuse of gray water in semi-arid agriculture is a promising alternative to increase water supply and reuse nutrients, but requires attention to the presence of heavy metals.

¹ Mestranda, Programa de Pós Graduação em Manejo de Solo e Água, UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró, RN. e-mail: ramona_amaro@hotmail.com

² Doutor em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Mossoró, RN.

³ Prof. Doutor, Depto de Engenharia e Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

⁴ Graduando em Agronomia, Depto de Engenharia e Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

⁵ Graduando em Ecologia, Depto de Biociências, UFERSA, Mossoró, RN.

This study aimed to verify the performance of a compact graywater treatment plant, focusing on the removal of micronutrients and heavy metals, with a view to safe reuse in agriculture and forestry. The research was conducted at the experimental area of CEMAS/UFERSA, in Mossoró-RN, from July to October 2018. Samples were collected from the equalization tank (ETE) and the ultraviolet reactor (ERU) for the analysis of micronutrients and the metals Cu, Mn, Fe, Ni, Zn, Pb, Cd, and Cr. The results indicated that the concentrations of the chemical elements were in accordance with irrigation standards. Fe was the most concentrated micronutrient in the treated effluent, while lead Pb stood out as the predominant heavy metal. The system showed good efficiency in the removal of Mn, Ni and Zn. The compact treatment plant proved effective for agricultural reuse, requiring monitoring of both water and soil to prevent toxicity.

KEYWORDS: wastewater, agricultural irrigation, effluent treatment.

INTRODUÇÃO

O uso agrícola de águas cinzas é uma estratégia viável para diminuir a pressão sobre os recursos hídricos naturais, especialmente em regiões afetadas pela escassez, como no semiárido brasileiro. Na agricultura, o uso de efluentes domésticos amplia a oferta hídrica e fornece nutrientes às plantas, contribuindo com o aumento da produtividade agrícola e na diminuição da carga de nutrientes lançada nos corpos d'água receptores (Chen et al., 2023). No entanto, a implementação dessa prática enfrenta desafios técnicos, sociais e econômicos, principalmente nas regiões semiáridas, o que demanda tecnologias eficientes e economicamente viáveis. Além disso, a qualidade da água destinada à irrigação deve ser criteriosamente avaliada, considerando parâmetros como salinidade, presença de íons dissolvidos e riscos à saúde humana (Tampo et al., 2022).

É fundamental observar a presença de micronutrientes em concentrações elevadas e, sobretudo, a ocorrência de metais pesados, como cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn). Embora estejam naturalmente presentes em solos, esses elementos, quando encontrados em concentrações elevadas nas águas cinzas, podem estar associados ao despejo de efluentes industriais e outras fontes contaminantes. A acumulação desses elementos no solo irrigado pode representar riscos à saúde humana e ao ambiente, dependendo da concentração e do tempo de exposição. Portanto, para a reutilização segura de águas cinzas na agricultura semiárida, é importante utilizar de tecnologias de tratamento adequado que realizem a remoção

eficiente desses contaminantes, garantindo a segurança do solo, das culturas e dos consumidores.

Desta forma, objetivou-se com o presente estudo monitorar o desempenho de uma estação de tratamento de água cinza instalada na UFERSA, em Mossoró–RN, com ênfase na remoção de micronutrientes e metais pesados, visando atender aos padrões de reúso na atividade agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Centro de Multiplicação de Animais Silvestres (CEMAS), pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), situada no município de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. O local está geograficamente posicionado entre as coordenadas 5°12'45,90'' S e 37°18'36,54'' O, a uma altitude de aproximadamente 40 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima semiárido quente (BSh) (Alvares et al., 2013).

Entre os meses de julho e outubro de 2018, foi conduzido o monitoramento de uma unidade compacta de tratamento de águas cinzas, voltada para o reúso da água em atividades agrícolas. O sistema foi projetado conforme as diretrizes estabelecidas pelas normas NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997), formado por um tanque de equalização (ETE), tanque séptico, filtro anaeróbio de fluxo ascendente, reator de radiação ultravioleta (ERU) com quatro lâmpadas germicidas de 30 W, vala de infiltração e uma área destinada ao reúso agrícola. A eficiência do sistema foi analisada por meio de quatro amostragem química da água cinza, coletadas nas saídas do tanque de equalização (ETE) e do reator ultravioleta (ERU).

Foram quantificadas as concentrações dos micronutrientes e metais potencialmente tóxicos como o cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe), níquel (Ni), zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e cromo (Cr). Os procedimentos de coleta e análise seguiram as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al., 2012). O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições temporais. Para a análise dos parâmetros químicos, aplicou-se estatística descritiva, por meio de médias e desvios-padrão. A eficiência de remoção dos compostos foi estimada conforme a Equação 1, proposta por Cunha et al. (2024).

$$RE = \{[1-(ERU / ETE)] * 100\} \quad (1)$$

Em que,

RE - Remoção dos atributos químicos presentes na estação de tratamento, em %;

ERU - Valores dos atributos químicos das amostras coletadas no reator ultravioleta, em mg L⁻¹;

ETE - Valores dos atributos químicos das amostras coletadas no tanque de equalização, em mg L⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios e desvio padrão das concentrações de micronutrientes e metais pesados determinados nas amostras de águas cinzas coletadas nos pontos de saída do tanque de equalização (ETE) e do reator por radiação ultravioleta (ERU), além dos padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema. Observa-se que todos os parâmetros apresentaram valores dentro dos limites máximos recomendados por Feigin et al. (1991) e pela FAO (Drechsel et al., 2023) para o uso da água na irrigação, indicando que, de modo geral, o efluente é apropriado para aplicação na irrigação agrícola.

Tabela 1: Valores médios, padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema dos micronutrientes e metais pesados encontrados nas amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), em julho a outubro de 2018.

Atributos	Características químicas			
	Cu	Mn	Fe	Ni
Unidade	mg L ⁻¹			
ETE	0,00 ± 0,00	0,100 ± 0,07	0,072 ± 0,43	0,04 ± 0,08
ERU	0,00 ± 0,00	0,05 ± 0,04	0,34 ± 0,37	0,1 ± 0,02
Padrões	5,0 ⁽¹⁾	0,2 ⁽¹⁾	5,0 ⁽¹⁾	5,0 ⁽¹⁾
	0,2 ⁽²⁾	0,2 ⁽²⁾	5,0 ⁽²⁾	0,2 ⁽²⁾
Remoção	-	50 %	-	75 %
Atributos	Zn	Cd	Pb	Cr
	mg L ⁻¹			
ETE	0,10 ± 0,06	0,01 ± 0,03	0,025 ± 0,03	0,00 ± 0,00
ERU	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,02	0,12 ± 0,08	0,02 ± 0,02
Padrões	10,0 ⁽¹⁾	0,05 ⁽¹⁾	20,0 ⁽¹⁾	0,1 ⁽¹⁾
	2,0 ⁽²⁾	0,01 ⁽²⁾	5,0 ⁽²⁾	0,1 ⁽²⁾
Remoção	80 %	-	-	-

Nota: Cu – Cobre; Mn – Manganês; Fe – Ferro; Ni – Níquel; Zn – Zinco; Cd – Cádmio; Pb – Chumbo; Cr – Cromo. (1) Feigin et al. (1991); (2) Diretrizes FAO (Drechsel; Marjani Zadeh; Pedrero, 2023).

Na Figura 1, observa-se que, dentre os micronutrientes analisados, o Fe apresentou a maior concentração relativa no efluente tratado (ERU) ($0,34 \text{ mg L}^{-1}$). Cunha (2018), em estudo com água cinza tratada pelo mesmo sistema utilizado no presente trabalho, observou mesmo comportamento, identificando o Fe como o micronutriente de maior concentração entre os efluentes tratados (ERU), com $0,51 \text{ mg L}^{-1}$. A presença de Fe nas águas pode estar associada à matéria orgânica, que forma complexos coloidais (Bao et al., 2023). No presente estudo, a elevada carga orgânica presente nas águas cinzas, especialmente oriundas de resíduos alimentares provenientes da pia da cozinha, pode justificar os teores mais elevados de Fe em comparação aos demais micronutrientes. As concentrações de Cu não foram detectadas, permanecendo abaixo do limite de quantificação analítica.

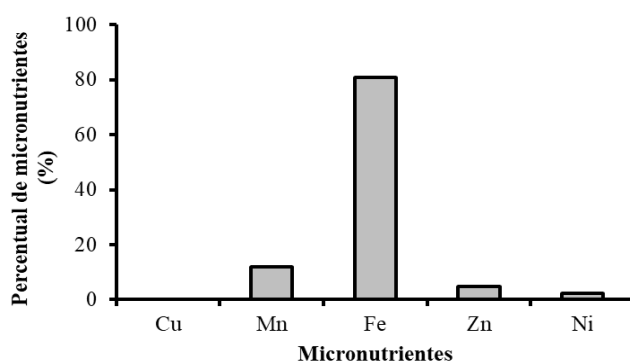


Figura 1- Proporção de micronutrientes no efluente tratado do reator ultravioleta artificial (ERU).

Com relação aos metais pesados, observa-se que Pb é o metal com a maior proporção no efluente tratado (ERU), com $0,12 \text{ mg L}^{-1}$. Esta elevada concentração de Pb pode ser atribuída a presença de alimentos que apresentam pequenas quantidades de Pb, como também os utensílios usados para cozinhar os alimentos e produtos de higiene ou cosméticos (Mostafa et al., 2023). Além disso, Paoliello & Chasin (2001) em seus resultados mostrou que o Pb pode ser encontrado associado a compostos orgânicos, podendo aumentar em 60 vezes a concentração de Pb na água.

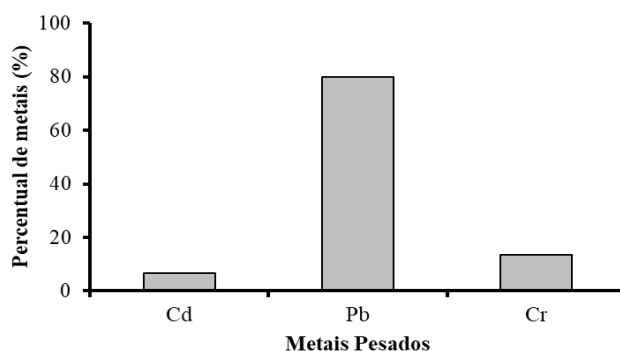


Figura 2- Proporção de metais no efluente tratado do reator ultravioleta artificial (ERU).

De modo geral, a eficiência de remoção do Mn (50%), Ni (75%) e Zn (80%) foi significativa, conforme evidenciado na Tabela 1. Esses resultados superaram os obtidos por Cunha (2018), que, ao avaliar a mesma estação de tratamento voltada ao reúso agrícola de águas cinzas, registrou remoção de 39% para Mn, 73% para Zn e ausência de remoção para o Ni. Os resultados mostram que a combinação da ERU com a ETE apresentou bom desempenho na remoção, evidenciando a maior eficiência do sistema integrado. A maior eficiência observada neste estudo pode estar relacionada ao acúmulo de matéria orgânica no sistema, ao longo do tempo de operação, favorecendo a complexação com íons metálicos e, conseqüentemente, a retenção desses elementos.

Os padrões internacionais da FAO (Drechsel et al., 2023) são mais rigorosos que os definidos por Feigin et al. (1991), exceto para os íons Mn, Fe e Cr, que possuem o mesmo limite. Isso indica que a FAO adota uma abordagem mais restritiva visando à proteção do solo e à manutenção da produtividade agrícola. Embora todos os parâmetros avaliados estejam dentro dos limites estabelecidos por ambos os referenciais, para atender aos critérios internacionais, é necessário o monitoramento contínuo do sistema solo-planta-água, para evitar que ultrapassem os valores permitidos.

CONCLUSÕES

O sistema de tratamento de águas cinzas mostrou eficiência na remoção dos metais Mn (50%), Ni (75%) e Zn (80%). A maior concentração de Fe e Pb no efluente tratado está provavelmente associada a fontes como resíduos alimentares e produtos de higiene pessoal, reforçando a importância de um monitoramento contínuo para garantir a segurança do reúso agrícola. Recomenda-se otimizar o sistema para metais residuais e avaliar seus efeitos no longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969**: Tanques Sépticos - Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos - Projeto, Construção e Operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 60p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p. 711-728, 2013.

BAO, T.; WANG, P.; HU, B.; WANG, X; QIAN, J. Mobilization of colloids during sediment resuspension and its effect on the release of heavy metals and dissolved organic matter. **Science of the Total Environment**, v. 861, p. 160678, 2023.

CHEN, C. Y.; WANG, S. W.; KIM, H.; PAN, S. Y.; FAN, C.; LIN, Y. J. A circular water economy. **Water Research**, v. 199, p. 117193, 2021.

CUNHA, M. E. **Monitoramento e avaliação socioambiental de sistema compacto para tratamento e uso agrícola de água cinza**. Mossoró: UFERSA, 2018. 88p. Dissertação Mestrado.

CUNHA, M. E.; BATISTA, R. O.; MATOS, G. X.; SOUSA, A. L. V.; REGES, L. B. L.; PAIVA, L. A. L.; MARQUES, B. C. D; MESQUITA, F. O. Monitoring and evaluation of a compact system for gray water treatment and agricultural use. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 2, p. e3310-e3310, 2024.

DRECHSEL, P.; MARJANI ZADEH, S.; PEDRERO, F. (Eds). **Water quality in agriculture: Risks and risk mitigation**. Rome: FAO & IWMI, 2023. 192p.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

MOSTAFA, G.; ALASIRI, A.; ALRABIAH, H.; EL-TOHAMY, MF. Evaluation of Cd, Hg, Pb, Zn and Ni in selected cosmetic products: risk assessment for human health. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 105, n. 2, p. 301-314, 2023.

PAOLIELLO, M. M. B.; CHASIN, A. A. M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001. 144 p. (Cadernos de Referencia Ambiental, 003).

TAMPO, L.; MANDE, S. L. A. S.; ADEKANMBI, A. O.; BOGUIDO, G.; AKPATAKU, K. V.; AYAH, M.; ALHASSAN, E. H. Treated wastewater suitability for reuse in comparison to groundwater and surface water in a peri-urban area: Implications for water quality management. **Science of the Total Environment**, v. 815, p. 152780, 2022.