

DETECÇÃO DE METAIS NO EFLUENTE DOMÉSTICO DE SISTEMA COMPACTO PARA TRATAMENTO E REÚSO AGRÍCOLA

Erlen Kaline Ávila do Nascimento¹, Maria Elidayane da Cunha², Hiago Lourenço Nobrega Gurgel³, Pedro Lucas Nogueira de Freitas³, Douglas Pereira Ferreira⁴, Rafael Oliveira Batista⁵

RESUMO: Este estudo avaliou os teores de metais de águas cinzas tratadas para reúso da na irrigação agrícola no semiárido Potiguar. Para isso, utilizou-se um sistema de tratamento instalado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido campus Mossoró composto por tanque séptico, filtro anaeróbio e reator de radiação ultravioleta. Analisaram-se amostras de água cinza tratada e não tratada quanto à concentração dos metais Cu, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb, Zn, Al, As, Ba e Cr. Os resultados demonstraram remoção significativa de alguns desses metais, como Al (92%), Fe (74%), Zn (73%) e Ba (71%). O efluente final atendeu aos padrões nacionais para reúso agrícola, sendo considerado adequado para essa finalidade. O estudo destaca a viabilidade do uso de tecnologias simples e de baixo custo no tratamento e reúso de água, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Água Cinza, Tratamento de Efluentes.

METAL DETECTION IN DOMESTIC EFFLUENT FROM A COMPACT SYSTEM FOR AGRICULTURAL TREATMENT AND REUSE

ABSTRACT: This study evaluated the levels of metals in treated greywater for reuse in agricultural irrigation in the semi-arid region of Potiguar, Brazil. For this purpose, a treatment system was installed at the Federal Rural University of the Semi-Arid, Mossoró campus, consisting of a septic tank, anaerobic filter, and ultraviolet radiation reactor. Samples of treated and untreated greywater were analyzed for the concentration of metals Cu, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb, Zn, Al, As, Ba, and Cr. The results showed significant removal of some of these metals, such

¹ Prof. Me, Escola de Ensino Fundamental, CEP 62806-899, Aracati, CE. Fone (84) 99190-4207. E-mail: erlen.kaline@gmail.com.

² Doutora em Manejo Solo e Água.

³ Estudante do Curso de Agronomia, Dep de Ciências Agrárias, UFERSA, Mossoró, RN.

⁴ Engenheiro Ambiental, Me em Manejo Solo e Água.

⁵ Prof. Doutor, Depto de Engenharia e Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

as Al (92%), Fe (74%), Zn (73%), and Ba (71%). The final effluent met national standards for agricultural reuse, being considered suitable for this purpose. The study highlights the feasibility of using simple and low-cost technologies for water treatment and reuse, in line with the United Nations Sustainable Development Goals..

KEYWORDS: Sustainability, Greywater, Effluent Treatment.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e a escassez de recursos hídricos configuram desafios significativos para a sustentabilidade ambiental e produção agrícola, sobretudo em regiões semiáridas. Esses fenômenos afetam amplamente o meio ambiente, qualidade de vida, segurança alimentar, atividades agrícolas, economia e recursos naturais (Tilleard et al., 2023; Karimi et al., 2024). Essa situação tem incentivado a adoção de alternativas como o reúso da água, que contribui não apenas na melhoria da qualidade de vida das comunidades locais, mas também para o fortalecimento da produção agrícola.

Nesse sentido, pesquisas que estudem o aproveitamento de águas residuárias domésticas são importantes. E o uso de tecnologias de tratamento de efluentes simples e de baixo custo e fácil operação, como reator com radiação ultravioleta, filtro anaeróbio de fluxo ascendente e tanque séptico, podem mitigar a poluição ambiental (Cunha, 2018) e ofertar água e nutrientes para cultivos agrícolas atendendo as diretrizes de reúso agrícola. A reflexão sobre o reúso da água na produção agrícola está alinhada ao Objetivo 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável (meta 2.4) e ao Objetivo 6 – Água Potável e Saneamento da ONU (2021), integrando temas essenciais como saneamento ambiental, saúde e bem-estar. Este estudo propõe uma abordagem original e aplicada na avaliação dos teores de metais nas águas cinzas utilizadas para irrigação em regiões semiáridas, com ênfase na análise dos parâmetros relacionados aos micronutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

Para a condução deste estudo, foi instalado um sistema de tratamento e reúso agrícola de água cinza em uma residência com quatro moradores (Figura 1), localizada no Centro de Multiplicação de Animais Silvestres (CEMAS), vinculado à Universidade Federal Rural do

Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN, Brasil, nas coordenadas geográficas 5°12'45,68" S e 37°18'36,47" O, a uma altitude de 40 m. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima BSh, caracterizado como semiárido, quente e seco, inserido no domínio morfoclimático da Caatinga, com precipitação pluvial anual média inferior a 794 mm e temperatura média anual superior a 26,5 °C (Alvares et al., 2013).

Nas imediações da residência do CEMAS, encontra-se área adequada para a instalação de uma estação compacta destinada ao tratamento e uso agrícola da água cinza. O sistema é composto por tubulações responsáveis pela captação das águas provenientes do chuveiro, das pias do banheiro e da cozinha, bem como do tanque de lavagem de roupas.



Figura 1. Imagens da área experimental (A) e da residência (B) que recebeu o sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza, no CEMAS da UFERSA, Mossoró/RN (Fonte: Cunha, 2018).

A pesquisa possui caráter interdisciplinar, integrando conhecimentos das áreas de economia agrícola, ecologia e saúde pública para avaliar os impactos relacionados à qualidade da água cinza. O estudo apresenta aplicação prática na gestão dos recursos hídricos do Rio Grande do Norte, fornecendo subsídios para orientações a produtores rurais e propondo alternativas sustentáveis de manejo. Ademais, a pesquisa está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2 e 6), ao abordar temas relacionados à qualidade da água cinza e à produção agrícola.

Amostragem e Análise de Água

O sistema foi dimensionado conforme as normas NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997), sendo composto por um tanque de equalização, tanque séptico, filtro anaeróbio de fluxo ascendente, reator com radiação ultravioleta, vala de infiltração e uma área destinada ao reúso agrícola (Figura 2). Três amostragens foram realizadas entre os meses de outubro e novembro de 2017, com o objetivo de monitorar o sistema de tratamento e caracterizar a água residuária domiciliar.

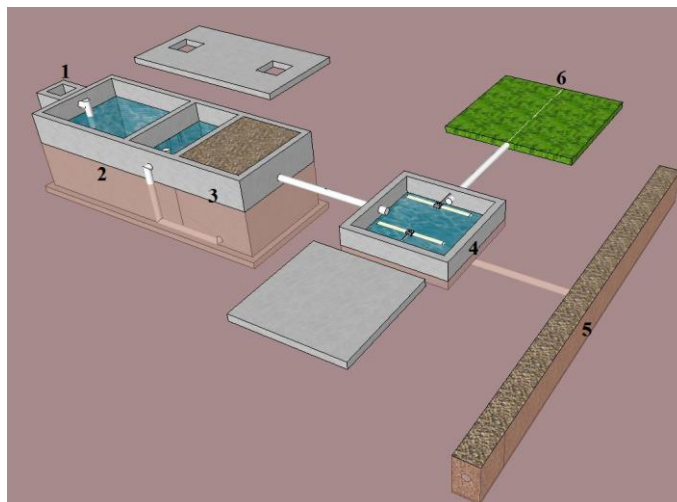


Figura 2. Esquema do sistema de tratamento e reúso agrícola da água cinza, implantado no CEMAS, destacando o tanque de equalização (1), o tanque séptico com duas câmaras (2), o filtro anaeróbio de fluxo ascendente (3), o reator ultravioleta artificial (4), a vala de infiltração (5) e, a área destinada à atividade da irrigação (6) (Fonte: Cunha, 2018).

Para a caracterização química, foram coletadas seis amostras de água cinza, sendo três após o tratamento e três sem tratamento. Os procedimentos de amostragem, preservação e análise seguiram as normas do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Rice; Baird; Clesceri, 2012). Foram avaliados no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA os seguintes parâmetros: Cu, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb, Cr Zn, enquanto Al, As e Ba foram quantificados nos Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado, com três repetições no tempo. Para os parâmetros químicos, aplicou-se estatística descritiva, utilizando média e desvio padrão. O desempenho do sistema foi avaliado pela eficiência de remoção dos parâmetros químicos, conforme a Equação 1, proposto por Cunha et al. (2024).

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

Em que,

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

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

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as médias das concentrações de elementos químicos nas amostras de água residuária domiciliar coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator de radiação ultravioleta artificial (ERU) ao longo do período experimental. Ao comparar os resultados dos atributos químicos analisados com os limites estabelecidos por Feigin et al. (1991) e Ayers e Westcot (1999), constatou-se que todas as variáveis, enquadram-se nos parâmetros adequados para utilização na irrigação agrícola, podendo ser empregadas com ressalvas. As maiores concentrações, em ordem crescente, foram observadas para Al e Ba, sendo este último o elemento com maior quantitativo. Quanto à remoção de elementos químicos, verificou-se que a combinação do sistema ETE com o ERU proporcionou uma maior eficiência na remoção dos elementos Al, Fe, Zn, Ba, As, Mn e Cu.

Tabela 1. Médias e desvios padrão das concentrações de metais em amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização da estação de tratamento (ETE) e no reator de radiação ultravioleta artificial (ERU).

Atributos	Características químicas				
	Cu	Mn	Fe	Ni	Cd
Unidade	mmolc L ⁻¹				
ETE	0,04 ± 0,06	0,20 ± 0,13	1,99 ± 2,40	0,02 ± 0,01	0,00 ± 0,01
ERU	0,03 ± 0,05	0,12 ± 0,03	0,51 ± 0,53	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,00
Padrões	5,0⁽⁶⁾	0,2⁽⁶⁾	5,0⁽⁶⁾	5,0⁽⁶⁾	0,05⁽⁶⁾
Remoção	19%	39%	74%	-1%	-71%
Atributos	Pb	Zn	Al	As	
Unidade	mmolc L ⁻¹				
ETE	0,02 ± 0,03	0,38 ± 0,47	7,25 ± 1,83	0,04 ± 0,02	
ERU	0,06 ± 0,06	0,10 ± 0,11	0,61 ± 0,22	0,02 ± 0,01	
Padrões	20⁽⁶⁾	10⁽⁶⁾	5,0⁽⁶⁾	0,1⁽⁶⁾	
Remoção	-162%	73%	92%	51%	
Atributos	Ba	Cr			
Unidade	mmolc L ⁻¹				
ETE	4,65 ± 3,78	0,04 ± 0,02			
ERU	1,36 ± 3,78	0,04 ± 0,02			
Padrões	5,0⁽⁶⁾	0,1⁽⁶⁾			
Remoção	71%	13%			

Nota: Cu – Cobre; Mn – Manganês; Fe – Ferro; Ni – Níquel; Cd – Cadmio; Pb – Chumbo; Zn – Zinco; Al – Alumínio; As – Arsênio; Ba – Bário; Cr – Cromo . (6) Feigin et al. (1991).

Leal et al. (2011) estabelecem um limite máximo de 0,05 mg L⁻¹ para Cd, Cr, Pb e Ni para águas residuárias utilizadas na agricultura. Segundo Karvelas et al. (2003), o tratamento biológico pode reduzir significativamente as concentrações de metais, com eficiência de até 70% para Cu e Mn (por adsorção no lodo). Em trabalho de Mohammed et al., (2020) utilizando

luz ultravioleta e peróxido de hidrogênio, obteve-se, remoção de Pb e Cu de 81,75% e 83,1 %, respectivamente. No presente estudo, observou-se uma remoção de 19% para Cu e 39% para Mn, ficando abaixo da eficiência reportada na literatura. No entanto, para Cr, Fe e Zn, cuja remoção esperada seria de até 50%, os resultados deste trabalho superaram essa estimativa, alcançando reduções acima de 50% para Fe e Zn.

O Bário apresentou concentração média de 1,36 mg L⁻¹, com 71% de remoção, valor abaixo do limite de 5 mg L⁻¹ estabelecido pela Resolução COEMA nº 2/2017 (Art. 11, XVI) para lançamento de efluentes não sanitários em corpos hídricos. Quanto aos metais Cd, Pb, Fe, Ni e Zn, os resultados do tratamento da água cinza atenderam aos padrões da CONAMA nº 430/2011 (Art. 16), com valores inferiores aos máximos permitidos: Cd (0,2 mg L⁻¹), Pb (0,5 mg L⁻¹), Fe (15 mg L⁻¹), Ni (2,0 mg L⁻¹) e Zn (5,0 mg L⁻¹). O Cu e Mn também permaneceram abaixo dos limites (1,0 mg L⁻¹ para ambos) (Brasil, 2011). Ressalta-se, que os metais pesados presentes na água constituem ameaças expressivas ao meio ambiente e à saúde pública, estando associados a danos neurológicos, distúrbios no desenvolvimento, lesões em órgãos vitais e à ocorrência de câncer. Considerando sua persistência e resistência à biodegradação, torna-se fundamental o manejo eficaz da contaminação desses elementos nos corpos hídricos (Gahrouei et al., 2024).

CONCLUSÕES

A estação de tratamento de água residuária domiciliar apresentou remoções dos elementos químicos Cr (13%), Cu (19%), Mn (39%), Ar (51%), Ba (71%), Zn (73%), Fe (74%) e Al (92%). Esta gerou efluente compatível com os padrões nacionais de reúso agrícola.

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. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AYERS, R. S.; WESTCOY, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzida por Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damaceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).

BRASIL. Resolução CONAMA N° 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357/2005. Brasília, **Diário Oficial da União**, 2011. 89p.

CEARÁ. Resolução COEMA N° 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE n° 154, de 22 de julho de 2002 e n° 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE n° 151, de 21 de fevereiro de 2017. **Diário Oficial do Ceará**, 2017.

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

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, 2024.

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

GAHROUEI, A.E; REZAPOUR, A; PIROOZ, M; POUREBRAHIMI, S. From classic to cutting-edge solutions: A comprehensive review of materials and methods for heavy metal removal from water environments. **Desalination and Water Treatment**, v.319, 2024.

KARIMI, M.; TABIEE, M.; KARAMI, S.; KARIMI, V.; KARAMIDEHKORDI, E. Climate change and water scarcity impacts on sustainability in semi-arid areas: Lessons from the South of Iran. **Groundwater for Sustainable Development**, 24, 101075. 2024.

KARVELAS, M.; KATSOYIANNIS, A.; SAMARA, C. Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process. **Chemosphere**, v. 53, p. 1201-1210, 2003.

LEAL, L. H.; TEMMINK, H.; ZEEMAN, G.; BUISMAN, C. J. N. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. **Desalination**, v. 270, p. 111-115, 2011.

MOHAMMED, H.A; KHALEEF, S.A; ALI, A.K. Photolysis of Methylene Blue Dye Using an Advance Oxidation Process (UV/H₂O). **Materials Science and Engineering**, v.870, 2020.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 5 mai, 2025.

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.

TILLEARD, S.; TURRAL, H.; KETELSEN, T.; WHITING, L. **Climate change, water scarcity and agriculture: lessons from the countries of the lower mekong climate risks to water security: framing effective response in Asia and the Pacific**. Springer. International Publishing, Cham, p. 215-238, 2023.