

REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA PARA REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Ramona Rodrigues Amaro de Oliveira¹, Adler Lincoln Severiano da Silva², Rafael Oliveira Batista³, João Luiz Lima⁴, Paulo Ricardo Chagas Oliveira⁵, Alessandra Nunes da Silva⁵

RESUMO: Diante à escassez hídrica, especialmente no semiárido potiguar, o reúso da água destaca-se como alternativa viável na agricultura. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a remoção de nutrientes de uma estação compacta de tratamento de água cinza instalada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró–RN. Foram analisadas amostras coletadas no tanque de equalização (ETE) e na estação de reator ultravioleta (ERU), para os elementos Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻ e P. As análises mostraram conformidade dos parâmetros químicos com os padrões de irrigação, exceto o potássio (K⁺) em relação aos padrões nacionais, e o sódio (Na⁺) e cloreto (Cl⁻) com relação aos padrões internacionais. O sistema apresentou boa eficiência na remoção de fósforo (63,64%). Segundo o diagrama U.S.S.L., as amostras tratadas foram classificadas como C3S1, indicando baixo risco de sodicidade, mas alto risco de salinização. Conclui-se que a estação compacta gera efluente para o reúso agrícola, sendo necessário monitoramento da qualidade água e do solo para o controle da salinidade.

PALAVRAS-CHAVE: desempenho, efluente doméstico, salinidade.

NUTRIENT REMOVAL FROM GREY WATER TREATMENT SYSTEM FOR AGRICULTURAL REUSE IN THE POTIGUAR SEMI-ARID REGION

ABSTRACT: Amid water scarcity, especially in the Potiguar semi-arid region, water reuse stands out as a viable alternative for agriculture. This study aimed to evaluate nutrient removal efficiency of a compact greywater treatment system installed at the Federal Rural University of

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 Doutorando em Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, UFERSA, Mossoró, RN.

⁵ Graduando em Agronomia, Depto de Ciências Agrônomicas e Florestais, UFERSA, Mossoró, RN.

the Semi-Arid (UFERSA), in Mossoró–RN. Samples were collected from the equalization tank (ETE) and the artificial ultraviolet reactor (AUR), and analyzed for Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , and P. The analyses showed that the chemical parameters complied with irrigation standards, except for potassium (K^+) with respect to national standards, and sodium (Na^+) and chloride (Cl^-) with respect to international standards. The system showed good phosphorus removal efficiency (63.64%). According to the U.S.S.L. diagram, treated samples were classified as C3S1, indicating low sodicity risk but high salinity risk. It is concluded that the compact system is effective for agricultural reuse, provided that water and soil quality are monitored to control salinity.

KEYWORDS: performance, domestic effluent, salinity.

INTRODUÇÃO

A água é fundamental para o equilíbrio ambiental, a saúde humana e o desenvolvimento econômico, porém seu uso crescente e insustentável tem comprometido a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos. A crescente pressão sobre os recursos hídricos, agravada por eventos de escassez, poluição e uso insustentável, exige alternativas que promovam a conservação e o uso eficiente da água na agricultura, setor responsável por grande parte da demanda hídrica global (UNESCO, 2024).

O uso agrícola de águas residuárias domésticas tratadas, desde que observadas as diretrizes legais para o reúso da água, surge como uma estratégia viável especialmente em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro, onde as condições climáticas dificultam o armazenamento e acentuam as perdas por evaporação (Hajjar et al., 2025). Nessa perspectiva, torna-se fundamental o desenvolvimento de tecnologias acessíveis e eficientes, de fácil operação e capazes de remover contaminantes sem o uso de insumos químicos. Sistemas compostos por tanque séptico (ABNT, 1993), filtro anaeróbio (ABNT, 1997) e reator ultravioleta artificial (UV) (Cunha et al., 2024) têm demonstrado potencial nesse contexto.

A avaliação da qualidade da água para reúso agrícola deve considerar parâmetros como salinidade, sodicidade e toxicidade, devido aos efeitos negativos de íons dissolvidos sobre o solo e as culturas (Almeida, 2010). O aumento de sais dissolvidos eleva o potencial osmótico da água, dificultando a absorção hídrica pelas plantas, e a concentração de sódio trocável pode prejudicar as propriedades físico-químicas do solo (Pandit et al., 2024). Nesta perspectiva, este trabalho tem como objetivo monitorar o desempenho de uma estação de tratamento de água

cinza instalada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN, Brasil, a fim de averiguar se a estação apresenta bom desempenho quanto à remoção de atributos químicos presentes na água cinza de forma a atender aos padrões de reúso agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental do Centro de Multiplicação de Animais Silvestres (CEMAS) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no município de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. O CEMAS situa-se entre as coordenadas geográficas 5°12'45,90'' S, 37°18'36,54'' O, tendo altitude de 40 m. Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSh, caracterizado como semiárido quente (Alvares et al., 2013). Realizou-se o monitoramento de uma estação compacta de tratamento para uso agrícola de água cinza, no período julho a outubro de 2018. O sistema foi dimensionado segundo as normas NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997), composto por tanque de equalização (ETE), tanque séptico, filtro anaeróbio de fluxo ascendente, reator ultravioleta (ERU), vala de infiltração e área destinada ao reúso agrícola. O ERU operou com quatro lâmpadas germicidas de 30 W.

O desempenho da estação foi avaliado por meio de quatro amostragens químicas da água cinza, coletadas na ETE e ERU, com intervalo médio de 32 dias. Determinou-se as concentrações dos elementos químicos sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e fósforo (P). Com os teores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} estimou-se a razão de adsorção de sódio (RAS). Procedimentos de amostragem e análises seguiram as normas do *Standart methods for examination of water and wastewater* (Rice et al., 2012). O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições no tempo. Para os parâmetros químicos, aplicou-se a estatística descritiva, utilizando média e desvio padrão. Os riscos de salinidade e sodicidade foram avaliados pelo Diagrama da U.S.S.L. (Richards, 1954), por meio do software Qualigraf v.1.17 (FUNCEME, 2023). O desempenho do sistema foi avaliado pela eficiência de remoção dos parâmetros químicos, conforme a Equação 1 (Cunha et al., 2024).

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

Em que,

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

ERU - Valores dos atributos químicos das amostras coletadas no reator ultravioleta, em mmolc L-1, mg L-1 ou (mmolc L-1)0,5;

ETE - Valores dos atributos químicos das amostras coletadas no tanque de equalização, em mmolc L-1, mg L-1 ou mmolc L-1)0,5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentadas as médias e desvio padrão das concentrações dos elementos químicos nas amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator de radiação ultravioleta artificial (ERU) durante o período experimental. Dentre os atributos químicos avaliados, apenas a concentração média de potássio (K⁺), excedeu o limite de 0,05 mmolc L⁻¹ recomendado por Almeida (2010) para águas destinadas à irrigação agrícola. A maior concentração de K⁺ é devido ao elevado teor desse elemento químico na água de abastecimento. Altas concentrações de K⁺ na água de irrigação podem interferir na absorção de Ca²⁺ e Mg²⁺ pelas plantas, devido à competição iônica nos sítios de absorção radicular, afetando seu desenvolvimento e a produtividade agrícola (Yang et al., 2023). Por isso, o monitoramento da concentração de K⁺ é fundamental, especialmente nas práticas de reúso de água para irrigação.

Tabela 1. Médias e desvios padrão dos atributos químicos das águas do tanque de equalização da estação de tratamento (ETE) e no reator de radiação ultravioleta artificial (ERU).

Atributos	Características químicas				
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻
Unidade			mmolc L ⁻¹		
ETE	0,65 ± 0,1	4,68 ± 0,40	1,54 ± 0,23	0,68 ± 0,15	5,55 ± 1,38
ERU	0,69 ± 0,16	4,72 ± 9,97	2,28 ± 0,24	0,46 ± 0,31	4,45 ± 0,84
Padrões	0,05 ⁽¹⁾	40,0 ⁽¹⁾	20,0 ⁽¹⁾	5,0 ⁽¹⁾	30,0 ⁽¹⁾
	-	3,0 ⁽²⁾	-	-	4,0 ⁽²⁾
Remoção	-	-	-	32,35%	19,82%
Atributos	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ²⁻	RAS	P	
Unidade	mmolc L ⁻¹		(mmolc L ⁻¹) ^{0,5}	mg L ⁻¹	
ETE	0,00 ± 0,00	7,45 ± 1,83	4,45 ± 0,42	0,44 ± 0,15	
ERU	0,00 ± 0,00	5,00 ± 1,54	4,10 ± 0,88	0,16 ± 0,13	
Padrões	0,1 ⁽¹⁾	10,0 ⁽¹⁾	15,0 ⁽¹⁾	2,0 ⁽¹⁾	
	-	8,5 ⁽²⁾	6,0 ⁽²⁾	-	
Remoção	-	32,89%	7,87%	63,64%	

Nota: K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; Cl⁻ – Cloreto; CO₃²⁻ – Carbonato; HCO₃⁻ – Bicarbonato; RAS - Razão de adsorção de sódio; P – Fósforo. (1) Almeida (2010). (2) Diretrizes FAO (Drechsel; Marjani Zadeh; Pedrero, 2023).

Conforme os padrões internacionais estabelecidos pela FAO para águas destinadas à irrigação, apenas as concentrações médias de Na^+ e Cl^- excederam os limites estabelecidos. O excesso de Cl^- nas águas usadas para irrigação pode apresentar risco de toxicidade às culturas (Alvarega et al., 2019; Alves et al., 2021). A presença desse ânion nas águas cinzas podem estar relacionada aos insumos domésticos (produtos de limpeza) e à composição da água de abastecimento (Budeli & Sibali, 2025; WHO, 1996). Já as altas concentrações de Na^+ na solução do solo pode alterar a qualidade física do solo (Xie, et al., 2025; Bless, et al., 2022). O Na^+ presente em efluentes domésticos tem origem predominantemente no uso de produtos de limpeza e higiene, que contêm sais de sódio em suas formulações (Weston, 1998).

Todos os demais parâmetros analisados encontram-se abaixo dos limites estabelecidos por Almeida (2010) e pela FAO (Drechsel et al., 2023) para o uso da água na irrigação, o que indica que, de modo geral, seu uso é apropriado para irrigação agrícola. Desta forma, não se prevê risco significativo à qualidade do solo ou ao desenvolvimento das culturas, desde haja monitoramento contínuo, principalmente dos íons que excederam os limites recomendados, a fim de prevenir impactos ao sistema solo-planta. Também é evidenciado um baixo risco de obstrução dos sistemas de irrigação por gotejamento, devido as concentrações médias dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} se apresentarem abaixo dos limites usuais para a irrigação (Yao et al., 2025).

Os padrões internacionais da FAO (Drechsel et al., 2023) são mais rigorosos que os definidos por Almeida (2010) para o Brasil, de postura mais conservadora na proteção do solo e da produtividade agrícola. Embora a maioria dos parâmetros estejam dentro dos limites de ambos os referenciais, o atendimento aos critérios internacionais exige monitoramento contínuo, principalmente para os íons que ultrapassaram seus valores máximos permitidos.

Com relação à remoção de elementos químicos pelo sistema, verificou-se redução de 32,35% no íon Mg^{2+} , 19,82% no Cl^- , 32,89% no HCO_3^{2-} , 63,64% no P e 7,87% na RAS. Esses resultados indicam que a combinação da ERU com a ETE apresentou bom desempenho na remoção, indicando maior eficiência do sistema integrado. Cunha (2018), em estudo com água cinza tratada pelo mesmo sistema do presente estudo, observou nos teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^{2-} e P reduções de 4%, 6%, 59%, 20%, 14% e 76%, respectivamente, apresentando, no geral, comportamento semelhante ao observado neste estudo.

Na classificação para irrigação, baseada no diagrama U.S.S.L. (Figura 1), as amostras da ETE e da ERU não apresentaram risco de sodicidade, sendo ambas enquadradas como S1 (baixo risco). Em relação ao risco de salinização, o diagrama U.S.S.L. classificou as amostras da ETE e da ERU como C3, indicando alto risco. Observa-se, ainda, que as águas cinzas da ETE exibem

níveis de salinização ligeiramente superiores aos da ERU, evidenciando o efeito benéfico do reator de radiação ultravioleta artificial na redução dos teores de sais.

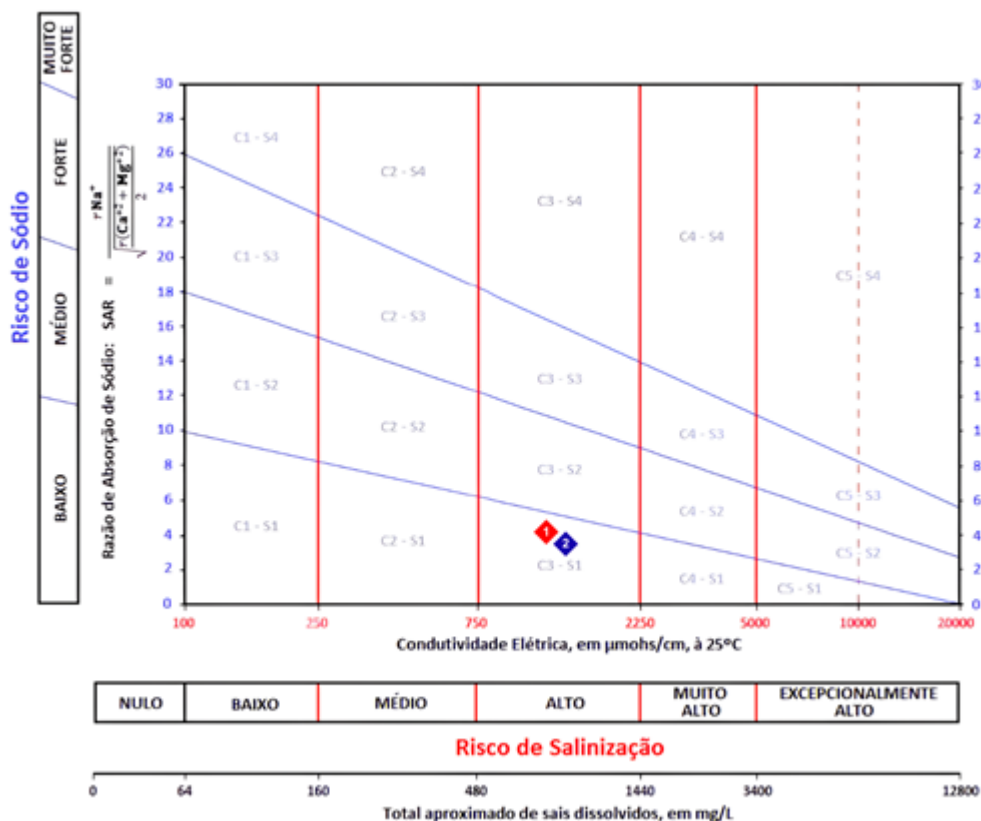


Figura 1. Classificação da água coletada no tanque de equalização (ETE) e no reator de radiação ultravioleta artificial (ERU) da estação compacta de tratamento para reúso de água cinza do CEMAS/UFERSA, no período de julho a outubro de 2018, quanto ao risco de salinidade e sodicidade de acordo com o Diagrama da U.S.S.L. Legenda: 1 - Tanque de equalização (ETE); 2 - Reator de radiação ultravioleta artificial (ERU).

A classificação C3 indica que a água cinza possui alto teor de sais dissolvidos e, se utilizada para reúso na irrigação, tende a favorecer o acúmulo de sais no solo, podendo provocar estresse osmótico nas plantas (Almeida, 2010). Por isso, não é recomendada para culturas sensíveis à salinidade sem manejo específico. Nesses casos, é indicado optar por culturas tolerantes a salinidade, adotar sistemas de drenagem eficientes para prevenir a salinização do perfil do solo e monitorar periodicamente os teores de íons ao longo do ciclo agrícola (Cuevas et al., 2019; Sá et al., 2016; Wang et al., 2019).

CONCLUSÕES

O sistema de tratamento apresentou remoções dos elementos químicos magnésio (32%), cloreto (20%), bicarbonato (33%) e fósforo (64%). De modo geral, a estação compacta possibilitou a geração de efluente compatível com os padrões nacionais e internacionais de reuso agrícola e florestal. Contudo, segundo o diagrama da U.S.S.L., as águas tratadas ainda apresentam alto risco de salinização. O software QualiGraf auxilia na identificação desses riscos, e com monitoramento adequado, o uso na irrigação é viável.

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.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da Água de Irrigação**. 1 Ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.

ALVARENGA, C. F. S.; SILVA, E. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; SILVA, L.A. Morfofisiologia de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal**. V. 42, n.1, p. 194-205, 2019.

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, p. 711-728, 2013.

ALVES, A. S.; LIMA, V. L. A.; DANTAS NETO, J.; LIMA JÚNIOR, B. C.; MELO JÚNIOR, A. P. Qualidade da água residuária aplicada a cultura da bananeira. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 4, n. 1, p.511-531, 2021.

BLESS, A. E. S.; COLIN, A. F.; CRABIT, A.; FOLLAIN, S. Soil Aggregate Stability in Salt-Affected Vineyards: Depth-Wise Variability Analysis. **Land**, v. 11, p. 541, 2022.

BUDELI, P.; SIBALI, L.L. Greywater Reuse: Contaminant Profile, Health Implications, and Sustainable Solutions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 22, 2025.

CUEVAS, J.; DALIAKOPOULOS, I. N.; MORAL, F.; HUESO, J. J.; TSANIS, I. K. A Review of Soil-Improving Cropping Systems for Soil Salinization. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 295, 2019.

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.

FUNCEME. **Qualigraf**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://qualigraf.funceme.br/>. Acesso em: 25 abril. 2025.

HAJJAR, T.; MOHTAR, R. H.; JAOUDE, L. A.; YANNI, S. F. Treated wastewater reuse for irrigation in a semi-arid region. **Science of the Total Environment**, v. 966, p. 178579, 2025.

PANDIT, K.; CHANDNI; KAUR, S.; KUMAR, M.; BHARDWAJ, R.; KAUR, S. Chapter Six - Salinity stress: Impact on plant growth. **Advances in Food Security and Sustainability**, v. 9, p. 145-160, 2024.

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.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils**. [s. l.], 1954.

SÁ, F. V. S.; NOBRE, R. G.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; PAIVA, E. P.; OLIVEIRA, F. A. Tolerance of guava rootstocks under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.20, n.12, p.1072-1077, 2016.

SILVA, A. L. S.; ARAÚJO, A. B. A.; BATISTA, R. O.; DOMBROSKI, S. A. G.; FERREIRA, D. A. C.; OLIVEIRA, P. H. S.; FREITAS, I. A. S. Aperfeiçoamento e monitoramento de

estação para tratamento e aplicação agrícola de água cinza no semiárido Brasileiro. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 175-191, 2021.

SILVA, T. L. Qualidade da água residuária para reuso na agricultura irrigada. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 101-111, 2018.

UNESCO. **The United Nations world water development report 2024: water for prosperity and peace**. Paris: UNESCO, 2024. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/>

XIE, Y.; NING, H. F.; ZHANG, X.; ZHOU, W.; XU, P.; YINPING, C.; LI, N.; WANG, X.; LIU, H. Reducing the Sodium Adsorption Ratio Improves the Soil Aggregates and Organic Matter in Brackish-Water-Irrigated Cotton Fields. **Agronomy**, v. 14, p. 2169, 2024.

YANG, M.; ZHOU, D.; HANG, H.; CHEN, S.; LIU, H.; SU, J.; LV, H.; JIA, H.; ZHAO, G. Effects of balancing exchangeable cations Ca, Mg, and K on the growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) based on increased soil cation exchange capacity. **Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 629, 2024.

YAO, Y., XIAO, Y., HOU, P., & LI, S. Evaluating the Influence of Water Quality on Clogging Behavior in Drip Irrigation Emitters: A CT Imaging Study. **Water**, v. 17, n. 7, p. 1065, 2025.

WANG, C.; WU, J.; ZHENG, W.; ZHU, Y.; HUANG, J. Five-Year Experimental Study on Effectiveness and Sustainability of a Dry Drainage System for Controlling Soil Salinity. **Water**, v. 11, p. 111, 2019.

WESTON, R. F. Environmental fate and effects of cleaning product ingredients in graywater. **The Soap and Detergent Association**, New York, n. 05821-005-002, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. Health criteria and other supporting information, **World Health Organization**, Geneva, ed. 2 v. 2, 1996.