QUALIDADE DO SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE TRATADO POR FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA

Silvia Mangabeira Campos Souza[1] *; Patrícia dos Santos Nascimento* [2]

RESUMO – A crescente escassez hídrica e a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis têm impulsionado o uso de efluentes tratados na irrigação, especialmente em regiões semiáridas. Nesse contexto, a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) destaca-se como uma tecnologia descentralizada de baixo custo, capaz de promover o tratamento de esgoto doméstico e gerar efluente com potencial de reúso agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade físico-química, nutricional e microbiológica do efluente tratado por FSB e seus efeitos nos atributos químicos do solo. O experimento foi conduzido em Feira de Santana, Bahia, utilizando três fontes de irrigação: efluente tratado por FSB, efluente primário e água de chuva. Os resultados demonstraram que a FSB promoveu remoções de 82,36 % de nitrogênio total Kjeldahl, 80,93 % de DBO_5, 58,57 % de DQO e 99,68 % de coliformes termotolerantes. No solo, a irrigação com efluente tratado contribuiu para a manutenção do pH, aumento dos teores de fósforo, potássio e micronutrientes, sem evidências de acúmulo excessivo ou degradação química. Conclui-se que a FSB apresentou desempenho satisfatório no tratamento do esgoto doméstico, produzindo efluente com potencial para reúso agrícola e contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo, constituindo uma alternativa para a gestão sustentável da água e dos nutrientes.

ABSTRACT– The growing water scarcity and the need for more sustainable agricultural practices have driven the use of treated wastewater for irrigation, especially in semi-arid regions. In this context, the Biodigester Septic Tank (BST) stands out as a low-cost, decentralized technology capable of treating domestic sewage and generating effluent with potential for agricultural reuse. The objective of this study was to evaluate the physicochemical, nutritional, and microbiological quality of the effluent treated by BST and its effects on soil chemical attributes. The experiment was conducted in Feira de Santana, Bahia, utilizing three irrigation sources: BST effluent, primary effluent, and rainwater. The results demonstrated that the BST achieved removal rates of 82.36% for total Kjeldahl nitrogen, 80.93% for BOD_5, 58.57% for COD, and 99.68% for thermotolerant coliforms. In the soil, irrigation with treated effluent contributed to maintaining pH levels and increasing phosphorus, potassium, and micronutrient contents, with no evidence of excessive accumulation or chemical degradation. It is concluded that the BST showed satisfactory performance in domestic sewage treatment, producing an effluent with potential for agricultural reuse and contributing to the improvement of soil fertility, making it a viable alternative for the sustainable management of water and nutrients.

.

Palavras-Chave – Reúso agrícola; Fossa séptica biodigestora; Fertilidade do solo.

[1]) Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, Bahia, Brasil, (75) 99181-7599, E-mail: smcsouza@gmail.com
[2]) Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, Bahia, Brasil, (75) 99106-0120, E-mail: psnascimento@uefs.br

1 – INTRODUÇÃO

A crescente demanda por recursos hídricos, associada à expansão das atividades agrícolas e às limitações de disponibilidade de água doce, tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis para o uso da água na agricultura. Nesse contexto, o reúso de efluentes tratados destaca-se como uma estratégia capaz de reduzir a pressão sobre os mananciais convencionais, ao mesmo tempo em que promove o aproveitamento de nutrientes presentes nos efluentes, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos naturais (Ebissa *et al*., 2024).

Além da função hídrica, os efluentes tratados podem atuar como fonte complementar de nutrientes essenciais às plantas, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, reduzindo parcialmente a necessidade de fertilizantes minerais e os custos de produção agrícola (Zidan *et al.*, 2024). Diversos estudos têm demonstrado benefícios agronômicos decorrentes dessa prática, incluindo incrementos no crescimento vegetal, na produção de biomassa e na produtividade de diferentes culturas agrícolas (Makhadmeh *et al.*, 2021; Carvalho, 2023; Rocha *et al.*, 2024; Sousa *et al.*, 2024).

Entre as tecnologias disponíveis para o tratamento descentralizado de esgoto doméstico, a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) destaca-se por sua simplicidade operacional, baixo custo de implantação e potencial de aplicação em comunidades rurais e periurbanas. O sistema promove a estabilização anaeróbia da matéria orgânica, reduzindo a carga orgânica e microbiológica do esgoto e produzindo um efluente com potencial para reúso agrícola (Embrapa, 2010; Oliveira *et al.*, 2021). Estudos realizados com essa tecnologia têm reportado elevadas eficiências na remoção de parâmetros como demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e microrganismos indicadores, mantendo parte dos nutrientes dissolvidos no efluente tratado (Santana *et al.*, 2022; Carvalho, 2023).

Entretanto, embora o aporte de nutrientes represente uma vantagem agronômica, a aplicação contínua de efluentes ao solo requer monitoramento, uma vez que alterações nos atributos químicos podem ocorrer ao longo do tempo. Segundo Gao *et al*. (2021), o reúso agrícola pode influenciar parâmetros como pH, capacidade de troca catiônica, condutividade elétrica e disponibilidade de macro e micronutrientes. Dependendo das características do efluente e das condições edafoclimáticas locais, podem ocorrer tanto melhorias na fertilidade quanto riscos associados ao acúmulo excessivo de sais e determinados elementos químicos (Wang *et al*., 2024).

Nesse contexto, torna-se fundamental compreender não apenas a eficiência de sistemas alternativos de tratamento de esgoto, mas também os impactos da aplicação de seus efluentes sobre os atributos do solo. A avaliação integrada da qualidade do efluente tratado e das alterações

promovidas no ambiente agrícola permite verificar a viabilidade do reúso como estratégia de conservação dos recursos hídricos, reciclagem de nutrientes e fortalecimento da sustentabilidade dos sistemas produtivos. Essa discussão assume especial relevância em regiões semiáridas, onde a limitação da disponibilidade de água impõe a necessidade de soluções capazes de conciliar segurança hídrica, produção agrícola e proteção ambiental.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade físico-química, nutricional e microbiológica do efluente tratado por uma Fossa Séptica Biodigestora e verificar seus efeitos sobre os atributos químicos do solo.

2 – METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na sede da Equipe de Estudos e Educação Ambiental (EEA) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), localizada no município de Feira de Santana, Bahia. Foram avaliadas três fontes de irrigação: efluente tratado por Fossa Séptica Biodigestora (FSB), efluente primário (EP) e água de chuva (AC), utilizada como tratamento controle.

A Fossa Séptica Biodigestora utilizada neste experimento foi instalada previamente na sede da EEA. O sistema, originalmente adaptado por Carvalho, (2023), é composto por três caixas de polietileno de 100 litros, sendo duas destinadas à fermentação anaeróbica e uma terceira para coleta do efluente tratado, elas são interligadas por tubulações de PVC.

O esgoto gerado nos vasos sanitários da sede da EEA passa inicialmente por uma fossa séptica convencional. Na sequência, esse efluente é bombeado para um reservatório de polietileno com capacidade de 1.000 litros, onde fica armazenado. Esse material armazenado constitui o efluente primário utilizado neste estudo, que foi aplicado diretamente como um dos tratamentos de irrigação. Simultaneamente, o mesmo efluente primário armazenado na caixa de 1.000 litros é direcionado continuamente para a FSB, percorrendo as três caixas de polietileno interligadas. Ao final do processo, o efluente líquido estabilizado é coletado na terceira caixa, caracterizando o efluente tratado pela FSB.

A água de chuva foi captada por meio de calhas instaladas na cobertura da área experimental e armazenada em reservatório de polietileno com capacidade para 1.000 L. Essa fonte hídrica foi utilizada como tratamento controle, representando uma condição de irrigação sem aporte adicional de nutrientes provenientes de águas residuárias.

As amostras das fontes de irrigação foram coletadas e encaminhadas ao Laboratório de Saneamento da UEFS, onde foram realizadas as análises para caracterização da qualidade dos efluentes e da água utilizada no experimento.

O solo utilizado foi coletado na camada de 0–20 cm em área agrícola localizada no município de Serra Preta, Bahia, região de transição entre o Agreste e o Semiárido. Antes da implantação dos tratamentos foi realizada a caracterização inicial do solo. Ao final do experimento, novas amostras foram coletadas para avaliação das alterações promovidas pelas diferentes fontes de irrigação.

Foram considerados os tratamentos T0 (solo natural), T1 (solo irrigado com água de chuva), T2 (solo irrigado com efluente tratado pela FSB) e T3 (solo irrigado com efluente primário).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características físico-químicas, nutricionais e microbiológicas do afluente (efluente primário) e efluente da fossa séptica biodigestora (FSB)

Os resultados das análises físico-químicas, nutricionais e microbiológicas do afluente e do efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora (FSB) encontram-se apresentados na Tabela 1. De modo geral, o sistema promoveu redução da carga orgânica, microbiológica e da concentração de alguns constituintes dissolvidos, produzindo um efluente com características compatíveis com o reúso agrícola.

Tabela 1 – Caracterização físico-química, nutricional e microbiológica do afluente e efluente da Fossa Séptica Biodigestora (FSB)

Parâmetro	Unidade	Afluente	Efluente	Eficiência de remoção (%)
pH	—	7,6	7,2	—
Condutividade elétrica	dS m^{-1}	2,18	1,67	23,39
NTK	mg L^{-1}	158,7	28	82,36
Fósforo total	mg L^{-1}	8,28	9,28	-12,08
DBO_5	mg L^{-1}	80	15,26	80,93
DQO	mg L^{-1}	706,89	292,86	58,57
Coliformes termotolerantes	NMP 100 mL^{-1}	$2,2 \times 10^5$	7×10^2	99,68

Fonte: Autora, 2025.

O pH do efluente tratado permaneceu próximo à neutralidade. Esse comportamento é característico de sistemas anaeróbios e representa uma condição favorável para aplicação agrícola, uma vez que reduz o potencial de acidificação do solo. Silva e Furlan (2022) também observaram

valores próximos da neutralidade em efluentes tratados por Fossa Séptica Biodigestora, demonstrando a estabilidade desse tipo de sistema.

A condutividade elétrica apresentou redução após o tratamento, indicando diminuição da concentração de sais dissolvidos. Sob a perspectiva agronômica, esse resultado é relevante por minimizar riscos de salinização do solo, mantendo níveis adequados para utilização em irrigação agrícola (Pereira *et al.*, 2018).

Entre os nutrientes avaliados, observou-se elevada remoção de nitrogênio total *Kjeldahl* (NTK), com eficiência de 82,36 %, reduzindo sua concentração no efluente tratado. Em contrapartida, o fósforo total apresentou ligeiro incremento. Esse comportamento é frequentemente observado em sistemas anaeróbios devido à mineralização da matéria orgânica e à liberação do fósforo anteriormente associado à fração particulada do esgoto (Freitas *et al.*, 2015). Segundo Von Sperling (2007), a remoção desse nutriente em processos anaeróbios é normalmente limitada, favorecendo sua permanência no efluente.

Sob a ótica do reúso agrícola, a manutenção de fósforo no efluente representa uma característica importante, pois esse nutriente pode ser incorporado ao solo durante a irrigação, contribuindo para o suprimento nutricional das culturas. Da mesma forma, a presença de sais dissolvidos, evidenciada pela condutividade elétrica observada, pode favorecer o aporte gradual de nutrientes ao sistema solo-planta.

3.2 Qualidade do solo utilizado no experimento

A constituição físico-química do solo natural e dos solos submetidos aos diferentes manejos de irrigação encontra-se apresentada na Tabela 2. De modo geral, observou-se que a irrigação com efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora (T2) promoveu alterações positivas nos atributos químicos do solo quando comparado ao solo natural (T0), evidenciando a influência da composição do efluente sobre a fertilidade do sistema.

Tabela 2 - Atributos químicos do solo original (T0) e sob diferentes manejos de irrigação (T1, T2 e T3).

Tratamentos	Parâmetros			
	pH	Acidez trocável (Al)	Acidez potencial (H+AI)	CTC[1]
			cmolc/dm³	
T0	6,62	0,1	4,95	13,05
T1	6,37	0,1	6,99	17,07

T2	6,87	0,1	5,94	15,14
T3	6,26	0,1	7,01	16,75

Tratamentos	Macronutrientes				Micronutrientes			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K	P	Cu	Fe	Zn	Mn
	cmolc/dm³				mg/dm-³			
T0	4,60	2,90	17,89	10,83	0,25	41,50	0,85	11,25
T1	4,80	3,30	69,90	10,01	0,50	26,00	0,95	15,25
T2	4,91	3,00	43,61	11,68	0,50	45,00	1,31	12,21
T3	5,03	3,50	39,01	11,74	0,50	40,50	1,32	14,4

Legenda: T0 = Solo natural; T1 = Solo irrigado com água de chuva; T2 = Solo irrigado com efluente da FSB; T3 = Solo irrigado com efluente primário. Fonte: Autora, 2026.

Entre os atributos avaliados, o pH apresentou seu maior valor no tratamento irrigado com efluente tratado (T2). Esse comportamento pode ser associado às características do próprio efluente utilizado na irrigação, que apresentou pH próximo à neutralidade (Tabela 1). A aplicação contínua desse efluente tende a contribuir para a manutenção da reação do solo em faixas favoráveis ao desenvolvimento vegetal, reduzindo riscos de acidificação. Resultados semelhantes foram observados por Silva (2020), que verificou estabilidade do pH em solos irrigados com efluentes tratados provenientes de sistemas sépticos.

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) variou, sendo classificada como boa a muito boa segundo CFSEMG (1999). Os valores observados indicam adequada capacidade de retenção e disponibilização de nutrientes, aspecto importante para o aproveitamento dos elementos adicionados via irrigação. A manutenção desses valores sugere que a aplicação do efluente não comprometeu a qualidade química do solo, contribuindo para a preservação de sua fertilidade.

Os maiores incrementos nutricionais foram observados para fósforo e potássio. Os tratamentos irrigados com efluente apresentaram maiores concentrações de fósforo em comparação ao solo natural, comportamento diretamente relacionado à composição do efluente tratado, que manteve concentrações expressivas desse nutriente após o tratamento (Tabela 1). Como sistemas anaeróbios apresentam limitada remoção de fósforo, sua permanência no efluente favorece o aporte contínuo ao solo durante a fertirrigação. Resultado semelhante foi observado por Carvalho (2023), que verificou maiores concentrações de fósforo em solos irrigados com efluente tratado, atribuindo esse comportamento à disponibilidade contínua do nutriente via água residuária. Segundo Santos *et al.* (2015), o fósforo desempenha papel fundamental no desenvolvimento do girassol, favorecendo o crescimento inicial e contribuindo para a antecipação da colheita.

Situação semelhante foi observada para o potássio, cujos teores aumentaram nos tratamentos irrigados em relação ao solo natural. Embora esse nutriente não tenha sido quantificado diretamente no efluente, sua presença pode ser inferida pela condutividade elétrica observada e pela composição típica dos esgotos domésticos, que contêm quantidades significativas de potássio provenientes de excretas e águas residuárias (Cazanova, 2021); Costa *et al*. (2019) também verificaram incremento dos teores de potássio em solos submetidos à irrigação. Considerando que o potássio é um dos nutrientes mais absorvidos pelo girassol, atuando na regulação hídrica, resistência ao estresse e sustentação da haste, os valores observados indicam condições adequadas para o desenvolvimento da cultura.

Em relação aos micronutrientes, observou-se incremento dos teores de ferro e zinco nos tratamentos irrigados com efluente, particularmente no T2, indicando aporte desses elementos ao solo. Entretanto, os valores permaneceram dentro de faixas consideradas adequadas para uso agrícola, sem evidências de acúmulo excessivo ou riscos potenciais de contaminação. Comportamento semelhante foi relatado por Monteiro *et al*. (2014) e Carvalho (2023), que observaram aumento da disponibilidade de micronutrientes em solos submetidos à irrigação com águas residuárias tratadas.

De forma integrada, os resultados demonstram uma relação direta entre as características do efluente tratado e as alterações observadas nos atributos químicos do solo. O pH próximo à neutralidade, a presença de fósforo e os sais dissolvidos remanescentes após o tratamento contribuíram para a manutenção da fertilidade do solo e para o incremento de nutrientes disponíveis. Assim, a utilização do efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora mostrou potencial para promover o aproveitamento agronômico de nutrientes, favorecendo a qualidade química do solo sem evidências de degradação ou contaminação.

4 – CONCLUSÃO

A utilização do efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora influenciou positivamente os atributos químicos do solo, demonstrando relação direta entre a composição do efluente e as alterações observadas após a irrigação. O pH próximo à neutralidade e a presença de nutrientes no efluente favoreceram o incremento de atributos relacionados à fertilidade do solo, especialmente os teores de fósforo e potássio.

Os resultados evidenciam que o tratamento anaeróbio empregado na FSB produz um efluente com potencial para reúso agrícola, possibilitando o aproveitamento de nutrientes e reduzindo a

demanda por fertilizantes minerais. Além disso, não foram observadas alterações que indiquem degradação química do solo ou acúmulo excessivo de micronutrientes.

A Fossa Séptica Biodigestora apresenta-se como uma alternativa viável para o tratamento descentralizado de esgoto doméstico e para o manejo sustentável da água e do solo, contribuindo para o reúso de recursos hídricos e para a produção agrícola em regiões semiáridas.

5 – REFERÊNCIAS

CARVALHO, I. C. (2023). "Palma forrageira (*Opuntia fícus-indica (L.) Mill.*) fertirrigada com efluente doméstico tratado por Fossa Séptica Biodigestora". Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana – BA.

CAZANOVA, R. C. (2021). "Potencial de utilização de potássio oriundo de esgotos domésticos de edificações residenciais e comerciais de grande porte como produto comercializável". Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG) (1999). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Editado por Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H., Viçosa – MG.

COSTA, D. O.; VALE, H. S. M.; BATISTA, R. O.; TRAVASSOS, K. D.; PORTELA, J. C. (2019). "*Chemical characteristics of soil irrigated with produced water treatment and underground water". DYNA* 86, pp. 143–149.

EBISSA, G.; ARAMDE, F.; HAYAL, D. (2024). *"Study on quality of treated wastewater for urban agriculture use in Addis Ababa, Ethiopia". Science of the Total Environment.*

EMBRAPA (2010). Cartilha Fossa Séptica Biodigestora da Embrapa. Embrapa Tecnologia Social, Brasília – DF. Disponível em: https://ifbonillo.org.br/wp-content/uploads/2021/04/Cartilha-Fossas-Septicas-Biodigestoras-1.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

FREITAS, G. A.; PEREIRA, M. A. B.; BESSA, N. G. F.; CARNEIRO, J. S. S.; CONCEIÇÃO, R. C. N.; CERQUEIRA, F. B. (2015). "Eficiência do tratamento de fossa séptica biodigestora do Assentamento Rural Vale Verde, Gurupi-TO" in Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, 2015.

GAO, Y. et al. (2021). "*Changes in Soil Salinity under Treated Wastewater Irrigation: A Meta-Analysis". Environmental Pollution* 276, 116750.

MAKHADMEH, I. M.; GHARAIEBEH, S. F.; ALBALASMEH, A. A. (2021). "*Impact of Irrigation with Treated Domestic Wastewater on Squash (Cucurbita pepo L.) Fruit and Seed under Semi-Arid Conditions". Horticulturae* 7, 226.

MONTEIRO, D. R.; SILVA, T. T. S.; SILVA, L. V. B. D.; LIMA, V. L. A.; SANTOS, C. L. M.; PEARSON, H. W. (2014). "Efeito da aplicação de efluente doméstico tratado nos teores de micronutrientes no solo". Irriga, Edição Especial 01, pp. 40–46.

OLIVEIRA, T. J. J. et al. (2021). *"Rural blackwater treatment by a full-scale Brazilian Biodigester Septic Tank: microbial indicators and pathogen removal efficiency". Environmental Science and Pollution Research* 28, pp. 23235–23242.

PEREIRA, M. A. B.; BESSA, N. G. F.; FREITAS, G. A. et al. (2018). "Eficiência de fossa séptica biodigestora no tratamento de esgoto doméstico no assentamento Vale Verde, Tocantins". Tecnologia & Ciência Agropecuária 12(1), pp. 7–14.

ROCHA, R. D. L.; AMORIM, A. P. A. F.; SILVA, N. R.; SILVA, K. K. B.; KATO, M. (2024). "Efeito de águas de reuso no desenvolvimento e germinação de sementes de milho: uma abordagem para sustentabilidade agrícola" in Anais do Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Recife, 2024.

SANTANA, H. C. et al. (2022). "Alternativa para o saneamento rural: fossa séptica biodigestora para tratamento de efluente doméstico em zona rural" in Anais do XIX Congresso Nacional de Meio Ambiente, Poços de Caldas, 2022.

SANTOS, L. G. et al. (2015). "Análise de crescimento do girassol em função do suprimento de fósforo e boro". Bioscience Journal 31(2), pp. 370–381.

SILVA, E. L. (2020). "Desenvolvimento de um sistema ecológico para tratamento e aproveitamento agrícola de esgoto doméstico em comunidades rurais". Dissertação de Mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado.

SILVA, I. M.; FURLAN, M. R. (2022). "Fossa séptica biodigestora: uma alternativa ecologicamente correta para o saneamento em área rural". Revista Biociências 28(2), pp. 21–27.

SOUSA, R. I. G.; COSTA, J. C. C.; SANTOS, C. G. (2024). "Influência da irrigação com efluente tratado nas variáveis morfofisiológicas da cultura do rabanete". Cuadernos de Educación y Desarrollo 16(13), artigo 125.

VON SPERLING, M. (2007). Estudos e modelagem da qualidade da água dos rios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais – DESA/UFMG, Belo Horizonte – MG, 588 p.

WANG, L.; BLANCHY, G.; CORNELIS, W.; GARRÉ, S. (2024). "*Changes in soil hydraulic and physio-chemical properties under treated wastewater irrigation: A meta-analysis". Agricultural Water Management.*

ZIDAN, K.; MANDI, L.; HEJJAJ, A.; OUAZZANI, N.; ASSABBAN, A. (2024). "*Soil fertility and agro-physiological responses of maize (Zea mays) irrigated by treated domestic wastewater by hybrid multi-soil-layering technology". Journal of Environmental Management.*