

FIBRA DE COCO VERDE COMO PARTE DO MEIO SUPORTE DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS PLANTADOS COM A CULTURA DO FEIJÃO (*PHASEOLUS VULGARIS*) NA REMOÇÃO DE SAIS DE ESGOTO DOMÉSTICO

FIBRA DE COCO VERDE COMO PARTE DEL MEDIO SOPORTE DE HUMEDALES CONSTRUIDOS PLANTADOS CON EL CULTIVO DE FRIJOL (PHASEOLUS VULGARIS) EN LA REMOCIÓN DE SALES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

GREEN COCONUT FIBER AS PART OF THE SUPPORT MEDIUM OF CONSTRUCTED WETLANDS PLANTED WITH COMMON BEAN (PHASEOLUS VULGARIS) IN THE REMOVAL OF SALTS FROM DOMESTIC WASTEWATER

Júlia Santos Amaral¹, Joyce Kaline Sousa Santos², Elzio Lima da Silva Júnior³, Selma Cristina da Silva⁴.

¹Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, juliaamaral@aluno.ufrb.edu.br, nº de ORCID: 0009-0003-9146-2955;

²Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, joycekaline@aluno.ufrb.edu.br;

³Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFRB. Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, elzijojunior.97@gmail.com, nº de ORCID: 0009-0003-1868-7306;

⁴Engenheira Sanitarista e Ambiental e Especialista em Gerenciamento de recursos pela UFBA. Mestre em Recursos Hídricos pela UFCG. Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Departamento pela UnB. Pós Doutora em tratamento de efluentes pela UFMG, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, selma@ufrb.edu.br, nº de ORCID: 0000-0002-0387-6943.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário

Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario

Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage

Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

Entre as tecnologias de tratamento descentralizado de esgotos, os *wetlands* construídos (WCs) têm se destacado por sua eficiência no tratamento e baixo custo de operação. Contudo, a variabilidade na remoção de sais e nutrientes permanece como um desafio, exigindo estudos que aliem a caracterização detalhada do efluente ao monitoramento contínuo da eficiência do sistema. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema experimental composto por dois *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) para tratamento de esgotos domésticos efluentes de um reator UASB seguido de um de plantas flutuantes (WCPF) com a macrófita alface d'água (*Pistia stratiotes* L.), na remoção de sais. Os meios suportes dos WCFV eram compostos de solo e fibra de coco (WCFV-1) e apenas solo (WCFV-3), plantados com a cultura do feijão (*Phaseolus Vulgaris*). Esse trabalho apresenta os resultados de três ciclos de monitoramento, com frequência das análises quinzenais dos seguintes parâmetros: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, dureza e DQO. Entre os principais desafios



observados, destacam-se a instabilidade na remoção de sais, especialmente Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , que podem representar riscos de salinização e sodificação dos solos agrícolas, e a necessidade de manejo específico para evitar acúmulo iônico. Por outro lado, resultados promissores foram obtidos para a remoção de DQO e K^+ , evidenciando o potencial dos WCFV em reduzir carga orgânica e equilibrar a disponibilidade de nutrientes benéficos para as plantas. Conclui-se que os *wetlands* construídos de fluxo vertical, quando associados a tanques de macrófitas e operados com estratégias de manejo adequados, apresentam grande potencial para viabilizar o reuso agrícola de efluentes, contribuindo para a segurança hídrica, a sustentabilidade da produção de alimentos e o fortalecimento de práticas integradas de saneamento e agricultura sustentável.

Palavras-chave: *Wetlands* construídos, reuso agrícola, saneamento sustentável, resíduos tratados, Nutrição vegetal

RESÚMEN

Entre las tecnologías de tratamiento descentralizado de aguas residuales, los humedales construidos (HC) se han destacado por su eficiencia en el tratamiento y bajo costo de operación. Sin embargo, la variabilidad en la remoción de sales y nutrientes sigue siendo un desafío, lo que exige estudios que integren la caracterización detallada del efluente con el monitoreo continuo de la eficiencia del sistema. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el desempeño de un sistema experimental compuesto por dos humedales construidos de flujo vertical (HCFV) para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de un reactor UASB seguido de uno de plantas flotantes (HCPF) con la macrófita lechuga de agua (*Pistia stratiotes* L.), en la remoción de sales. Los medios de soporte de los HCFV estaban compuestos por suelo y fibra de coco (HCFV-1) y únicamente suelo (HCFV-3), sembrados con el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Este trabajo presenta los resultados de tres ciclos de monitoreo, con frecuencia quincenal de análisis de los siguientes parámetros: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dureza y DQO. Entre los principales desafíos observados, se destacan la inestabilidad en la remoción de sales, especialmente Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , que pueden representar riesgos de salinización y sodificación de los suelos agrícolas, y la necesidad de un manejo específico para evitar la acumulación iónica. Por otro lado, se obtuvieron resultados prometedores para la remoción de DQO y K^+ , lo que evidencia el potencial de los HCFV para reducir la carga orgánica y equilibrar la disponibilidad de nutrientes benéficos para las plantas. Se concluye que los humedales construidos de flujo vertical, cuando se asocian con estanques de macrófitas y se operan con estrategias de manejo adecuadas, presentan un gran potencial para viabilizar el reúso agrícola de efluentes, contribuyendo a la seguridad hídrica, la sostenibilidad de la producción de alimentos y el fortalecimiento de prácticas integradas de saneamiento y agricultura sostenible.

Palabras clave: *Wetlands* construidos, reúso agrícola, saneamiento sostenible, residuos tratados, nutrición vegetal

ABSTRACT

Among decentralized wastewater treatment technologies, constructed wetlands (CWs) have stood out for their efficiency in treatment and low operating costs. However, the variability in



the removal of salts and nutrients remains a challenge, requiring studies that combine detailed effluent characterization with continuous monitoring of system efficiency. In this context, this study aimed to evaluate the performance of an experimental system consisting of two vertical flow constructed wetlands (VFCWs) for the treatment of domestic wastewater effluents from a UASB reactor, followed by a floating plant wetland (FPCW) with the macrophyte water lettuce (*Pistia stratiotes* L.), in the removal of salts. The support media of the VFCWs consisted of soil and coconut fiber (VFCW-1) and soil only (VFCW-3), planted with common bean (*Phaseolus vulgaris*). This study presents the results of three monitoring cycles, with biweekly analysis of the following parameters: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , hardness, and COD. Among the main challenges observed, instability in salt removal stands out, especially Na^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} , which may pose risks of salinization and sodification of agricultural soils, as well as the need for specific management to avoid ionic accumulation. On the other hand, promising results were obtained for COD and K^+ removal, highlighting the potential of VFCWs to reduce organic load and balance the availability of beneficial nutrients for plants. It is concluded that vertical flow constructed wetlands, when associated with macrophyte tanks and operated with adequate management strategies, present great potential to enable the agricultural reuse of effluents, contributing to water security, sustainable food production, and the strengthening of integrated sanitation and sustainable agriculture practices.

Keywords: Constructed wetlands, agricultural reuse, sustainable sanitation, treated waste, Plant nutrition

INTRODUÇÃO

A busca por soluções sustentáveis para o tratamento de esgoto tem impulsionado o uso de tecnologias baseadas em processos naturais, como os *wetlands* construídos (WCs). Esses sistemas podem ser classificados conforme o tipo de macrófita (flutuantes, submersas ou emergentes) e o tipo de fluxo (superficial, subsuperficial horizontal ou vertical). Os *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) apresentam grande potencial no tratamento de efluentes domésticos e industriais, destacando-se pela remoção de matéria orgânica, nutrientes e metais pesados (SOUSA et al., 2004). Neles, a aplicação intermitente de água na superfície favorece a oxigenação do meio suporte, intensificando os processos físicos, químicos e biológicos responsáveis pela remoção de poluentes, o que os torna atrativos para comunidades rurais e municípios de pequeno porte (von Sperling, 2014).

Os meios suportes mais comuns são areia grossa, cascalho e brita, associados a macrófitas aquáticas, como *Typha* sp., *Juncus* spp., *Zizaniopsis bonariensis* e *Eleocharis* sp. Embora o uso de solo e de culturas agrícolas não seja convencional, estudos recentes com espécies produtoras de grãos têm apresentado resultados promissores (Silva; Ramos; Bernardes, 2018; 2021; Silva; Bernardes; Ramos, 2015; 2024). Além do tratamento, os WCFV

permitem o reuso agrícola da água tratada, contribuindo para a segurança hídrica e alimentar (Giafferis, Barros e Oliveira, 2014).

Neste estudo, avaliou-se o desempenho de duas unidades experimentais de WCFV, com meios suporte de solo e fibra de coco (WCFV-1) e solo (WCFV-3), cultivados com feijão (*Phaseolus vulgaris*), além de um wetland de plantas flutuantes (WCPF) com alface-d'água (*Pistia stratiotes* L.), utilizado como etapa de polimento. O afluente foi proveniente de reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), amplamente aplicado no Brasil.

A escolha dos parâmetros analisados (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dureza e DQO) deve-se ao impacto direto na qualidade do solo e na produtividade agrícola. Enquanto o K^+ é essencial para as plantas, o excesso de sais pode comprometer a estrutura do solo e causar riscos de salinização. Assim, este estudo se insere no contexto do saneamento descentralizado aliado ao reuso agrícola, alinhado à economia circular e especialmente relevante em regiões do semiárido e em áreas rurais do Recôncavo da Bahia, onde soluções convencionais são limitadas e onerosas. Além de mitigar impactos ambientais, a pesquisa oferece subsídios técnicos para políticas públicas de saneamento sustentável e práticas inovadoras que conciliam qualidade de vida e preservação ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema experimental era composto por duas unidades WCFV: uma com meio suporte de solo e fibra de coco (WCFV-1) e a outra apenas com solo (WCFV-3), plantadas com a cultura do feijão (Figura a) e, também, por um WCPF ou TQM (Figura b) para polimento do efluente dos WCFV.



Figura 2. Sistema experimental WCFV (a) e WCPF ou TQM (b).

Fonte: Elaboração própria, 2024.

O esgoto afluente aos sistemas era proveniente de um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (DAFA), mas comumente conhecido pela sigla em inglês UASB. Optou-se pelo efluente pré-tratado, com o intuito de evitar a rápida colmatção de leito filtrante, visto que o as unidades experimentais WCs não foram projetadas para tratar esgoto bruto. Esses efluentes eram aplicados nas segundas, quartas e sextas, deixando os outros dias o solo em descanso para favorecer a aeração e controlar o processo de colmatção do meio suporte/filtrante. O ciclo de secagem e umedecimento também facilita os processos de nitrificação e desnitrificação, otimizando a remoção de nitrogênio ao promover condições alternadas de aeróbiose e anaerobiose. A taxa de aplicação hidráulica foi de 0,07 m³/m².d.

As amostras dos afluentes e efluentes foram coletadas inicialmente, no terceiro ciclo, semanalmente e depois quinzenalmente por um período entre maio e junho de 2024, novembro e dezembro de 2024 (quarto ciclo) e entre abril e junho de 2025 (quinto ciclo), e foram caracterizadas a partir dos seguintes parâmetros: dureza, demanda química de oxigênio (DQO), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²), sódio (Na⁺) e potássio (K⁺), sendo esses dois últimos analisados apenas no 4º e 5º ciclo, e outros parâmetros que não foram incluídos nesse artigo (**Tabela 1**).

Tabela 1. Parâmetros analisados para observar a eficiências dos *wetlands* na remoção de sais dos esgotos domésticos (efluente de UASB)

Parâmetro	Unidade	Método de medição
DQO	mg/L	Refluxo fechado
Na ⁺	mg/L	Fotômetro de chama
K ⁺	mg/L	Fotômetro de chama
Ca ⁺²	mg/L	EDTA
Mg ⁺²	mg/L	EDTA
Dureza	mg/L	EDTA

Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3º Ciclo de monitoramento

Verifica-se que no 3º ciclo de monitoramento, houve uma pequena remoção da dureza, relacionada a uma leve redução das concentrações de magnésio (Mg⁺²), visto que as concentrações de cálcio (Ca⁺²) no efluente aumentaram (**Tabela 2**). O solo sem fibra (WCFV-

3) teve um desempenho melhor em relação àquele com fibra (WCFV-1). Com relação a remoção de sais, esse comportamento foi observado em estudos anteriores, que apontaram dificuldades na retenção de íons dissolvidos em sistemas de *wetlands* construídos, especialmente quando o meio filtrante não possui características específicas para adsorção iônica (Von Sperling, 2014).

Tabela 2. Valores médios das análises dos parâmetros

Valores médios das análises (mg/L)			
3º Ciclo			
	UASB	WCFV-1	WCFV-3
DQO	914,08	315,41	242,6
Dureza	136,60	167,27	129,75
Ca ⁺²	28,02	42,06	30,67
Mg ⁺²	18,95	17,64	14,99

Fonte: Elaboração própria, 2025

As eficiências médias de remoção da DQO foram boas, de 65% (WCFV-1) e 73% (WCFV-3) (**Figura 2**). O WCFV-1 com fibra teve menor eficiência de remoção, possivelmente devido à presença da fibra que reduziu o tempo de detenção hidráulica.

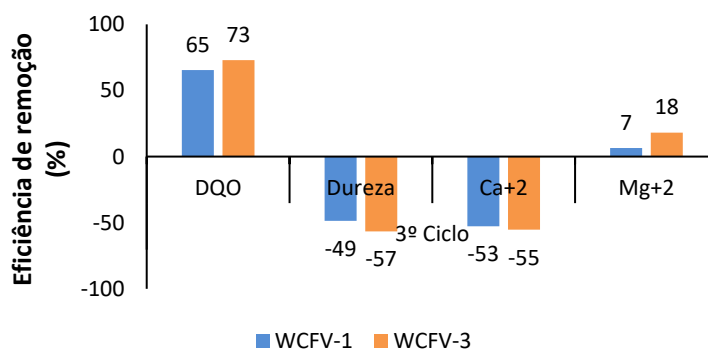


Figura 2. Eficiência de remoção dos parâmetros analisados.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

4º e 5º ciclo de monitoramento

Os resultados obtidos ao longo dos ciclos de monitoramento evidenciam comportamentos contrastantes entre os diferentes parâmetros analisados, confirmando a complexidade inerente à remoção de sais em *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) (Tabela 3). Essa heterogeneidade reforça que o desempenho do sistema não depende apenas da configuração do meio suporte e da presença de vegetação, mas também de fatores como evapotranspiração, variações sazonais, carga hidráulica e dinâmica dos íons em solução (Sezerino et al. 2015).

Tabela 3. Valores médios das análises dos parâmetros

Valores médios das análises (mg/L)								
	4º Ciclo				5º Ciclo			
	UASB	WCFV-1	WCFV-3	WCPF	UASB	WCFV-1	WCFV-3	WCPF
Dureza	148,08	220,01	231,94	173,59	145,51	188,64	206,44	132,85
DQO	528,00	264,00	214,50	236,50	551,10	224,40	250,80	191,40
Na⁺	291,65	358,83	367,02	331,03	971,08	831,26	920,83	777,73
K⁺	20,31	10,54	11,10	1,44	20,86	12,98	16,54	7,88
Ca⁺²	27,85	49,67	52,17	41,52	44,31	49,67	54,74	29,10
Mg⁺²	19,07	23,30	23,30	20,94	8,46	15,68	16,93	14,61

Fonte: Elaboração própria, 2025

No caso da matéria orgânica, expressa pela DQO, observou-se um desempenho robusto dos WCFV em ambos os ciclos avaliados. As eficiências mantiveram-se em patamares elevados (Figura 3), demonstrando que o sistema é eficiente na degradação da fração orgânica, mesmo em condições operacionais distintas.

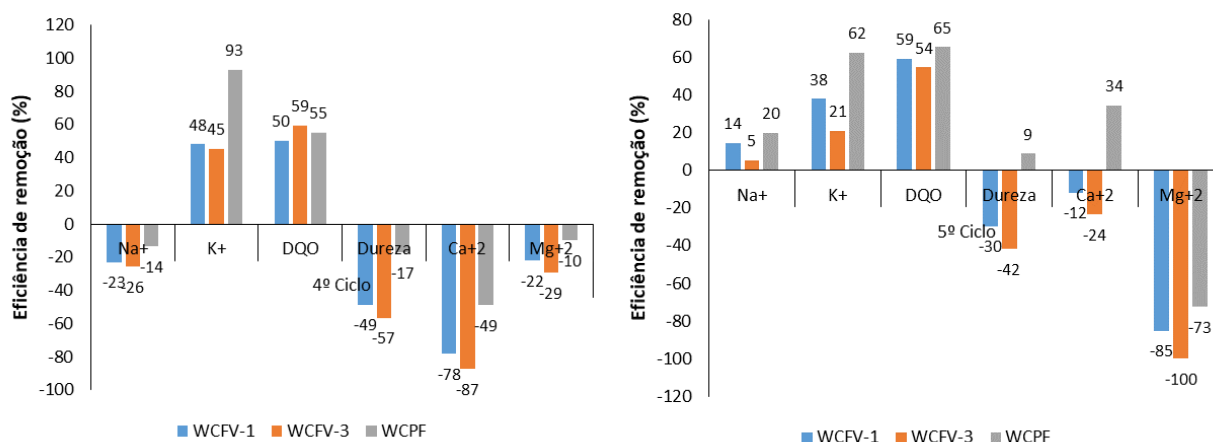


Figura 3. Eficiência de remoção dos parâmetros analisados.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Esse resultado corrobora estudos que apontam os *wetlands* como alternativas consistentes para o tratamento descentralizado de efluentes, sobretudo pela combinação de processos físicos, químicos e biológicos que promovem a remoção da matéria orgânica de forma estável (Sezerino, Philippi e Magri 2003). O comportamento dos nutrientes apresentou contrastes importantes. O potássio (K^+) destacou-se por apresentar remoções expressivas, relativamente consistentes entre os ciclos (Figura 3). Tal desempenho sugere uma forte interação do íon com o meio suporte, seja por adsorção ou precipitação, além de possível assimilação pelas plantas cultivadas. Esse padrão é compatível com observações de Magri, Sezerino e Philippi (2014), que identificaram a capacidade dos *wetlands* de reter nutrientes e,



ao mesmo tempo, fornece efluentes com características adequadas para reuso agrícola.

Em contraposição, o sódio (Na^+) apresentou tendências de acúmulo em determinados momentos, com eficiências negativas no 4º ciclo, seguido de recuperação parcial no 5º ciclo (Figura 3). A persistência de elevadas concentrações médias nos efluentes tratados (Tabela 3) indica que o elemento apresenta baixa afinidade com o substrato e reduzida absorção vegetal. Além disso, a influência da evapotranspiração pode ter intensificado a concentração do íon, contribuindo para os valores observados. Essa característica é preocupante para o reuso agrícola, visto que o sódio é um dos principais responsáveis pela salinização e sodificação dos solos irrigados (Matos et al. 2010).

A análise dos parâmetros de dureza (Ca^{2+} e Mg^{2+}) revelou ainda maior instabilidade. Enquanto o cálcio apresentou comportamentos oscilatórios, com reduções negativas no 4º ciclo e resultados pontualmente positivos no 5º (Figura 3), o magnésio apresentou predominantemente remoções negativas em ambos os ciclos, inclusive com acúmulo significativo (Tabela 3). Esses padrões sugerem que, diferentemente da matéria orgânica e do potássio, os íons bivalentes não encontram mecanismos efetivos de retenção no sistema, seja por adsorção ou por absorção vegetal (Matos et al. 2009). No caso do magnésio, em especial, o desempenho desfavorável limita a qualidade do efluente tratado e compromete sua adequação para uso agrícola em longo prazo.

De forma geral, os resultados indicam que os WCFV são altamente eficazes na remoção de DQO e no controle do potássio, parâmetros diretamente relacionados à melhoria da qualidade sanitária e nutricional do efluente. No entanto, a persistência de concentrações elevadas de sais como sódio, cálcio e magnésio (Tabela 3) mostra que a gestão da salinidade continua sendo um desafio central. As eficiências negativas observadas para esses íons (Figura 3) reforçam que, embora os *wetlands* possam contribuir para a remoção parcial, não devem ser considerados soluções únicas para o controle da salinidade em efluentes destinados ao reuso agrícola. Essas evidências apontam para a necessidade de ajustes operacionais e de estratégias complementares, como a otimização do tempo de detenção hidráulica, a escolha de espécies vegetais com maior capacidade de absorção de sais, e a integração com processos adicionais, como diluição controlada ou técnicas de polimento. A adoção de tais medidas pode ampliar a eficiência global do sistema e contribuir para garantir que o efluente tratado apresente qualidade compatível com práticas sustentáveis de irrigação agrícola (Philippi, Sezerino e Von



Sperling 2014).

Em síntese, enquanto os WCFV confirmam sua eficiência na redução de matéria orgânica e na remoção de potássio, revelando-se uma tecnologia promissora para o saneamento descentralizado, a instabilidade na retenção de íons como Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} exige atenção especial. O equilíbrio entre esses parâmetros será determinante para consolidar o uso de *wetlands* como solução efetiva e segura no reuso agrícola de efluentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas avaliados apresentaram bom desempenho na remoção de DQO nos primeiros ciclos, alcançando 73% de remoção (WCFV-3) e 65% (WCFV-1) no 3º ciclo. As eficiências continuaram reduzindo alcançando remoções médias no 5º ciclo de 59% (WCFV-1) e 50% (WCFV-3). Nesse ciclo, notou-se uma recuperação da eficiência de remoção do WCFV-1, indicando a influência da fibra na eficiência de remoção de DQO. A remoção de DQO reduziu, possivelmente, em função da desestruturação do solo durante a saturação para medida da perda de carga a cada ciclo da cultura do feijão. Logo, essa prática não deve ser realizada ao longo da operação dos sistemas.

Ambas unidades experimentais foram ineficientes para remoção de Ca^{+2} e pouco eficiente na remoção de Mg^{+2} apenas no 3º ciclo, sendo a WCFV-1 menos ineficiente em todo o período avaliado. Isso mostra que a fibra tem potencial para controlar a lixiviação desses cátions. No 4º ciclo as duas WCFV foram ineficientes para remoção de Na^{+2} , e apresentou uma pequena eficiência a partir do 5º ciclo com o WCFV-1 apresentando melhor desempenho. As duas unidades WCFV removeram K^+ em ambos os ciclos.

Conclui-se que a fibra de coco verde seca tem potencial para uso de meio suporte de WCFV, uma vez que mostrou capacidade para controlar o processo de retenção e lixiviação dos sais no solo, o que é importante para manter a qualidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) pelo financiamento da Pesquisa



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Magri, M. E., P. H. Sezerino, e L. S. Philippi. 2014. “Wetlands construídos aplicados ao tratamento de esgoto doméstico no Brasil: avanços e desafios.” *Revista DAE* 62 (196): 38–46.
- Matos, A. T., J. F. Freitas, R. R. Lo Monaco, e D. C. Santos. 2009. “Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura.” *Engenharia Sanitária e Ambiental* 14 (2): 219–28.
- Matos, A. T., R. R. Lo Monaco, J. F. Freitas, e D. C. Santos. 2010. “Uso agrícola de efluentes tratados em wetlands construídos: aspectos de salinidade e nutrientes.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14 (3): 327–34.
- Philippi, L. S., P. H. Sezerino, e M. Von Sperling. 2014. *Wetlands construídos: fundamentos, aplicações e perspectivas*. Florianópolis: UFSC/ABES.
- Sezerino, P. H., L. S. Philippi, e M. E. Magri. 2003. “Wetlands construídos: uma alternativa de baixo custo para o tratamento de esgotos domésticos.” *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* 8 (3): 181–88.
- Giafferis, G. P., R. B. Barros, e E. O. Oliveira. 2014. “Avaliação do Potencial de Reuso Agrícola do Efluente de uma Estação de Tratamento de Esgoto com Alagados Construídos.” *Energia na Agricultura* 29, nº 1 (jan.–mar.): 48–56.
- Sousa, J. T.; van Haandel, A.; Cunha, E. P.; Henrique, I. N. 2004. “Utilização de Wetland Construído no Pós-tratamento de Esgotos Domésticos Pré-tratados em Reator UASB.” *Engenharia Sanitária e Ambiental* 9, nº 4 (out.–dez.): 285–290.
- Silva, Selma Cristina; Maria Lucrécia G. Ramos; Ricardo S. Bernardes. 2020. “Wetlands construídos com meio suporte de solo na remoção de coliformes termotolerantes de esgotos domésticos.”
- Sousa, J. T., A. van Haandel, E. P. C. Lima, e I. N. Henrique. 2004. “Utilização de Wetland Construído no Pós-Tratamento de Esgotos Domésticos Pré-Tratados em Reator UASB.” *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* 9: 285–290.
- Von Sperling, Marcos. 2014. “Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.” 4ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG.