

Eficiência na remoção do hormônio 17 α -etinilestradiol de um efluente sanitário a partir da utilização de solo vegetado com bambu Barriga de Buda (*Bambusa taldoides* cv. *ventricosa*)

Efficiency in the removal of the hormone
17 α -ethinylestradiol from a sewage with the use of vegetated
soil with Buddha Belly (*Bambusa taldoides* cv. *ventricosa*)

Lullyane de Queiroz Rodrigues Barrero¹ , Rogério de Araújo Almeida¹ ,
Emiliano Lôbo de Godoi¹ , Carlos de Melo Silva Neto² , Ana Laura Honório Silva¹ 

¹Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, GO, Brasil. E-mails: lullyanebarrero@gmail.com, raa@ufg.br, emiliano@ufg.br, analaura.honorio25@gmail.com

²Instituto Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil. E-mail: carloskoa@gmail.com

Como citar: Barrero, L. Q. R. B., Almeida, R. A., Godoi, E. L., Silva Neto, C. M., & Silva, A. L. H. (2023). Eficiência na remoção do hormônio 17 α -etinilestradiol de um efluente sanitário a partir da utilização de solo vegetado com bambu Barriga de Buda (*Bambusa taldoides* cv. *ventricosa*). *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20, e22. <https://doi.org/10.21168/rega.v20e22>

RESUMO: Os resíduos do desregulador endócrino 17 α -etinilestradiol (EE₂), presente nos anticoncepcionais femininos, é eliminado pela urina e vai para o efluente. Os sistemas convencionais de tratamento não conseguem removê-lo de forma adequada e são então dispostos nos corpos receptores, onde são capazes de influenciar de forma negativa os níveis de esteroides de vários organismos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial do uso do solo vegetado com bambu Barriga de Buda (*Bambusa taldoides* cv. *ventricosa*) para a remoção do EE₂ do efluente. Para tanto, foram aplicados 760 mL de efluente sanitário contendo concentrações de 2 mg L⁻¹; 2,5 mg L⁻¹; 3 mg L⁻¹ e 3,5 mg L⁻¹ de EE₂, em vasos plásticos de 10 litros, plantados com o bambu. O líquido drenado de cada vaso foi coletado, medido e submetido a análise de determinação da concentração de EE₂. Calcularam-se as eficiências de remoção da quantidade absoluta de EE₂ (concentração x volume) e compararam-se os tratamentos. A eficiência na remoção de EE₂ variou de 80,22% a 95,33% entre as concentrações aplicadas. A eficiência de remoção do EE₂ pelo solo vegetado com bambu cresceu com a concentração de hormônio aplicada, sendo parte deste hormônio absorvido pela planta, devido a capacidade do EE₂ mimetizar outros hormônios, e outra parte adsorvida no solo que atuou como filtro.

Palavras-chave: Fitorremediação; Filtração Rápida; Tratamento de Efluentes; Zona de Raízes.

ABSTRACT: The endocrine disrupting compound 17 α -ethinylestradiol (EE₂), present in female contraceptives, after consumption, is eliminated by urine and goes into the sewer system. Conventional sewage treatment methods cannot properly remove such chemical which is then carried into the receiving bodies, where they are capable of negatively influence steroids levels of various aquatic organisms. The purpose of this study was to evaluate the usage potential of soil covered with Buddhas's Belly bamboo (*Bambusa taldoides* cv. *ventricosa*) in removing EE₂ from sewage. For this, 760 mL of sanitary sewage containing 2 mg EE₂ L⁻¹; 2.5 mg EE₂ L⁻¹; 3 mg EE₂ L⁻¹ and 3.5 mg EE₂ L⁻¹, were applied in 10L plastic pots, with grown Buddha's Belly bamboo plants. The drained fluid from each pot was collected, measured and subjected to EE₂ concentration analysis. The efficiency of EE₂ load (concentration x volume) removal was calculated and the treatments were compared. The efficiency of EE₂ removal ranged from 80.22% to 95.33% between the applied concentrations. The efficiency of EE₂ removal by soil covered with and without bamboo increased as the concentration of hormone increased, with part of this hormone absorbed by the soil and plant, adsorbed in the soil that acted as a filter.

Keywords: Phytoremediation; Rapid Filtration; Sewage Treatment; Root Zone.

Recebido: Fevereiro 14, 2023. Revisado: Agosto 04, 2023. Aceito: Setembro 13, 2023.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

Os micropoluentes são compostos que podem ser de origem orgânica, inorgânica, natural ou sintética e, podem ter efeitos adversos significativos no meio ambiente e na saúde humana, apesar de sua baixa concentração (Ribas et al., 2021). Dentre esta classe é possível observar os compostos desreguladores endócrinos, que são substâncias exógenas capazes de alterar as funções do sistema endócrino e provocar efeitos adversos na saúde dos organismos expostos a estes químicos, em especial aos peixes (Demonel et al., 2022).

A atenção neste estudo está voltada para o Etinilestradiol – EE₂ ou 17 α -etinilestradiol – um dos principais estrogênios sintéticos utilizados em formulações de contraceptivos orais e um dos medicamentos mais consumidos do mundo (Paula et al., 2023). Além disso, ele é apontado como um dos desreguladores endócrinos de maior relevância no ambiente aquático, devido as alterações que ele é capaz de provocar por ser resistente à biodegradação e possuir alta atividade estrogênica (Cabral, 2019).

Segundo Monteiro (2021) e Pereira (2022), este composto possui meia-vida entre 4 a 6 dias no organismo humano, sendo que esta chega a até 17 dias no ambiente aquático. O EE₂ é parcialmente eliminado na urina e fezes e segue para o esgoto, podendo ser enviado para os ambientes aquáticos *in natura* ou para uma Estação de Tratamento de Efluentes – ETE (Monteiro, 2021).

O EE₂ já foi detectado em efluentes tratados em diversos países. Na Alemanha foi detectado a uma concentração de 1,4 ng L⁻¹ (Ternes et al., 1999), na Itália em concentração de 3,0 ng L⁻¹ (Baronti et al., 2000), na Noruega, Suécia, Finlândia, Países Baixos, Bélgica, Alemanha, França, Suíça em concentração de 1,1 ng L⁻¹ (Jonhson et al., 2005), no Reino Unido a uma concentração de 7,0 ng L⁻¹ (Desbrow et al., 1998), e na Malásia em concentração variando entre 0,12 ng L⁻¹ e 5,88 ng L⁻¹ (Omar et al., 2018). No Brasil, segundo Ternes et al. (1999), ele foi detectado na concentração de 6,0 ng L⁻¹.

Para Kang et al. (2018) e Kumar et al. (2021), isso ocorre porque os processos atuais de tratamento de esgoto são incapazes de remover este tipo de composto, pois foram projetados somente para reduzir a matéria orgânica, nutrientes e patógenos existentes nos efluentes. Além disso, outro grande problema no Brasil é a falta de tratamento para os efluentes domésticos que, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2020), aproximadamente 49,2% do esgoto gerado não é tratado, sendo destinado diretamente para os corpos hídricos.

Neste sentido, é necessário desenvolver tecnologias de baixo custo, eficientes e adaptáveis à realidade socioeconômica precária dos municípios brasileiros (Silva & Picanço, 2021). Dentre estas alternativas de baixo custo está o uso de espécies vegetais para a redução e tratamento de efluentes a partir do sistema de zona de raízes (Faria et al., 2019; Rosa et al., 2021).

De acordo com Rosa et al. (2020), os sistemas de raízes são tratamentos que se baseiam em processos naturais, onde os recursos se encontram disponíveis na própria região e objetiva a união entre os processos físicos, químicos e biológicos no tratamento de efluentes. O bambu é uma planta encontrada em todo o território nacional, sendo utilizado como meio suporte no tratamento com zonas de raízes (Goetz et al., 2022). Sendo assim, este estudo tem por objetivo avaliar a remoção do EE₂ do efluente sanitário, em um sistema de tratamento do tipo zona de raízes, com solo vegetado com bambu Barriga de Buda (*Bambusa tuldooides* cv. *ventricosa* Munro).

METODOLOGIA

Efluente

O efluente utilizado neste estudo foi coletado na ETE Samambaia, localizada na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG). Esta ETE recebe e trata o efluente sanitário produzido nas unidades do Campus II da UFG. O tratamento nesta unidade consiste no uso de lagoas de estabilização em série, sendo uma facultativa e uma de maturação.

O efluente foi coletado ao final do tratamento, na lagoa de maturação, antes de seu encaminhamento para a disposição final no Rio Meia Ponte. Os 150 litros de efluente coletados foram conduzidos e armazenados em um contenedor plástico, localizado em área do Laboratório de Mecanização Agrícola (Lamagri), próximo ao local de realização do experimento.

Hormônio

Inicialmente o efluente coletado na ETE Samambaia foi submetido a análise por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) para verificar se havia alguma concentração de hormônio EE₂ passível

de ser detectada pelo aparelho, acima de 30 ng L⁻¹. A partir da não detecção do hormônio no efluente foram adicionadas manualmente as concentrações desejadas por meio de uma solução de adição.

A solução de adição de EE₂ foi fornecida pelo Núcleo de Estudos e Pesquisas Tóxico-Farmacológicas (NEPET) da UFG.

Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental

Foram feitas 20 unidades amostrais, consistindo em quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram em doses de EE₂, representadas por aplicação diária de 760 mL de efluente nas concentrações de: T1 = 2 mg L⁻¹; T2 = 2,5 mg L⁻¹; T3 = 3mg L⁻¹; T4 = 3,5mg L⁻¹. Além disso, foram alocadas quatro unidades amostrais denominadas testemunhas, que não continham bambu e que recebiam as doses, conforme os tratamentos estabelecidos.

As unidades amostrais com plantas constituíram-se de 20 vasos plásticos perfurados no fundo, preenchido com substrato e plantado com uma muda de bambu Barriga de Buda (*Bambusa tuldoides* cv. *ventricosa* Munro), com aproximadamente 1,4 m retirados do viveiro, localizado na Escola de Agronomia da UFG. Também foram utilizados quatro vasos sem plantas, para servirem de testemunha.

Estes vasos foram posicionados sobre bacias plásticas, que armazenavam o líquido drenado após cada aplicação, além disso, foram adaptados anéis de PVC dentro das bacias, de modo a elevar os vasos e, em cada anel de PVC foi feito um furo com 3 mm de diâmetro, de forma a permitir a saída de ar e impedir a formação de “bolha” de ar. Com relação ao substrato utilizado, o mesmo é composto por 70% de latossolo vermelho e 30% de areia lavada.

Para aclimação inicial das unidades experimentais os vasos utilizados foram regados com 760 mL de água, cada um, entre os dias 12 de outubro de 2016 a 12 de novembro de 2016, com intervalos aos finais de semana. Após essa aclimação iniciaram as aplicações de EE₂, nos dias 14, 15, 16, 20, 21, 22, 23 e 24 de novembro de 2016, em concentração correspondente aos tratamentos estabelecidos. As amostras para análise laboratorial foram coletadas nos dias 15, 16, 17, 21, 22, 23, 24 e 25 de novembro de 2016.

Preparação dos padrões de calibração e ensaio de linearidade (curva de calibração)

A solução estoque de 17 α -etinilestradiol foi preparada a partir da dissolução de 250 mg do hormônio em 250 mL de etanol, gerando ao final uma solução de 1000 μ g mL⁻¹. Posteriormente, para término do preparo da solução estoque, retirou-se 172 mL da solução previamente preparada e a adicionou em um balão volumétrico de 1000 mL, contendo água deionizada e álcool etílico, misturados a partir de um banho ultrassônico durante 15 minutos. A partir da solução estoque de 17 α -etinilestradiol, preparam-se as demais concentrações utilizadas no experimento.

Para que fosse possível determinar a curva de calibração foram preparadas cinco soluções em diferentes concentrações (100 ng mL⁻¹, 250 ng mL⁻¹, 500 ng mL⁻¹, 1.000 ng mL⁻¹ e 2.500 ng mL⁻¹). A curva analítica de 17 α -etinilestradiol apresenta correlação linear entre absorvância e concentração do hormônio com equação da reta igual a Equação 1.

$$Y = 232,5741x + 40257,98 \quad (1)$$

Onde:

x = área sob a curva calculada pela CLAE

R² = 0,988

Preparação das amostras, análise e cálculo de eficiência

Segundo Alves (2013) e Faria et al. (2015), a existência de sólidos em suspensão podem prejudicar a análise cromatográfica. Sendo assim, as amostras coletadas foram subdivididas e inseridas em tubos de ensaio de 10 mL e submetidas à centrifugação em 10.000 r.p.m. durante 5 minutos e, posteriormente filtradas por membrana de fibra de vidro (GFC-52) de 0,60 μ m.

Após filtragem, as amostras foram reunificadas e foram extraídos 20 mL de cada amostra para inserção nos vials do equipamento de CLAE, que possui este volume como limite nos cartuchos de detecção. Logo após, as amostras foram injetadas em cromatógrafo líquido para análise.

A detecção e a quantificação do hormônio foram realizadas por meio de CLAE, pelo método de quantificação de EE₂ validado por Isecke (2015), por meio de cálculo da área do gráfico. Todas as análises foram realizadas no NEPET.

Os percentuais de eficiência de remoção foram calculados mediante comparação das quantidades absolutas iniciais e finais do EE₂ (Equação 2), conforme sugerido por Almeida & Ucker (2011). As quantidades absolutas foram obtidas por meio do produto entre a concentração e o volume.

$$Ef (\%) = \frac{Q_{abs\ i} - Q_{abs\ f}}{Q_{abs\ i}} * 100 \quad (2)$$

Em que:

$Q_{abs\ i}$ = concentração inicial * volume inicial

$Q_{abs\ f}$ = concentração final * volume final

É importante compreender que o volume inicial corresponde aos 760 mL aplicados diariamente nos vasos e os volumes finais são obtidos a partir da coleta dos líquidos acumulados nas bacias plásticas abaixo dos vasos, sendo medidos a cada dia com o auxílio de uma proveta graduada. As bacias eram esvaziadas diariamente após a coleta de amostras.

Os resultados de eficiência foram analisados estatisticamente mediante um modelo de regressão linear (GRM), com significância estatística de 95%, observando-se o coeficiente de regressão (R^2) e distribuição dos resíduos dos dados para calcular a eficiência de remoção do hormônio no solo em relação a dosagem de hormônio aplicada no solo. Para comparação da eficiência de remoção de hormônio e evapotranspiração entre os tratamentos (solo com bambu e solo sem bambu) foram realizadas análises de variância com teste *a posteriori* com comparação múltipla de Fischer com mesmo nível de significância do teste anterior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A existência do bambu não altera a eficiência da remoção do hormônio EE₂ em todas as concentrações aplicadas. O solo assume a função de filtro neste processo, conseguindo reter, por adsorção, o EE₂ presente no efluente (Barrero, 2017). A Tabela 1 apresenta os percentuais médios de remoção do desregulador endócrino 17 α -etinilestradiol pelo sistema composto por solo e bambu e pelo solo (testemunha), conforme os tratamentos apresentados na metodologia.

Tabela 1 – Percentuais médios de remoção de EE₂ para cada um dos tratamentos.

Eficiência de remoção do EE ₂	Tratamentos			
	2 mg L ⁻¹	2,5 mg L ⁻¹	3mg L ⁻¹	3,5mg L ⁻¹
Solo + bambu	79,77% Aa*	87,32% Bb	89,38% BCc	94,44% Cc
Solo	77,54% Aa	85,75% Bb	88,03% BCc	89,98% Cc

*Letras maiúsculas comparam as doses entre as dosagens de hormônios; letras minúsculas comparam os tratamentos de solo+bambu com solo (sem bambu).

Segundo Guo et al. (2020), o solo descoberto, apesar de possuir sozinho alto potencial de remoção do EE₂, trará aspectos paisagísticos indesejáveis ao local, pois logo será ocupado por plantas daninhas. Sendo assim, ao aplicar o bambu Barriga de Buda, o caráter paisagístico e decorativo do local é mantido, assim como a eficiência do tratamento, podendo considerar seu papel de suma importância para o sistema. Além disso, segundo Barrero (2017) outro importante ponto que deve ser levado em consideração é a capacidade de acumulação de hormônios no solo. Segundo Hermann et al. (2023), os desreguladores endócrinos possuem alta capacidade de se acumularem nos sedimentos e no solo. É importante se atentar ao fato de que a interação entre o hormônio e solos tropicais, como os brasileiros, ainda é pouco explorada. Adicionalmente, de acordo com Alberton & Lindino (2020), os hormônios podem aos poucos serem liberados para o corpo d'água, causando contaminação. Dessa forma, a partir da utilização de plantas, essa acumulação é reduzida, sendo o mesmo transportado para elas e utilizado em seu desenvolvimento.

Em relação à eficiência, verificou-se que ela aumentava à medida que a concentração de hormônio aplicada também aumentava (Figura 1). Isso ocorre porque o sistema tende a entrar em equilíbrio (Henrique et al., 2019; Gomes, 2019), sendo assim, quanto maior a concentração de EE₂ aplicada, maior concentração estará presente no solo e a planta tenderá a absorver mais hormônio, em função do gradiente de concentração e do processo conhecido como difusão (Peixoto, 2020). Além disso, o aumento na eficiência do tratamento indica que o limite de remoção não foi atingido no experimento (Dias et al., 2022).

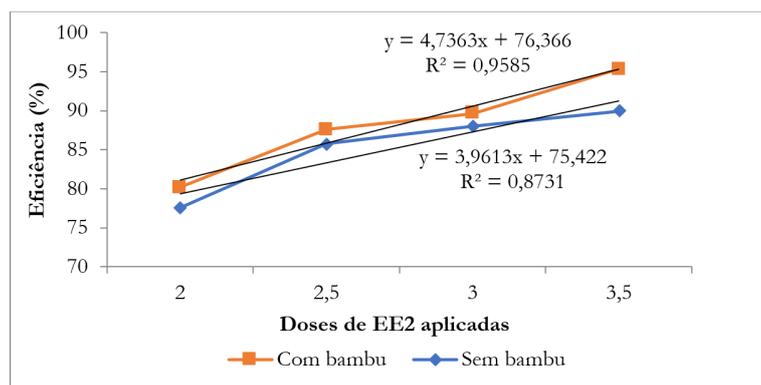


Figura 1 – Regressão linear da eficiência de remoção do hormônio EE2 do efluente sanitário em solo e solo vegetado com bambu.

A maior eficiência na remoção de EE2 foi observada para a concentração de 3,5 mg L⁻¹ e 3 mg L⁻¹, as quais não diferiram entre si (p>0.05)(Tabela 1). A menor eficiência foi observada para a menor concentração (2 mg L⁻¹) que diferiu estatisticamente de todos os outros tratamentos desenvolvidos neste estudo. Os valores evidenciam o aumento da eficiência na remoção do hormônio com o aumento da concentração aplicada. A regressão também produziu curvas de acumulação de hormônio no solo, que podem ser calculadas utilizando as equações para solo com bambu: $y = 4,7363x + 76,366$; e $y = 3,9613x + 75,422$ para solo sem bambu, sendo “y” a eficiência de remoção do hormônio e “x” a dosagem de hormônio aplicado no solo.

De acordo com Andrade (2018), a evapotranspiração é a combinação do processo de transferência da água de uma superfície para a atmosfera por meio de sua conversão do estado líquido a vapor (evaporação) e do processo biofísico pelo qual as plantas transferem a água utilizada em seu metabolismo para a atmosfera (transpiração). Os resultados dispostos na Tabela 2 indicam que o volume de efluente a ser tratado reduz significativamente em função da evapotranspiração.

Sendo assim, no cálculo da eficiência nos tratamentos de esgoto com plantas deve ser considerado a remoção da carga poluidora e não apenas da concentração de um poluente, que subestima a eficiência de tratamento em até 30 pontos percentuais (Almeida & Ucker, 2011). Nesse sentido, a Tabela 2 apresenta as taxas de evapotranspiração e evaporação do experimento, sendo perceptível o aumento da taxa quando os bambus participam desse processo.

Tabela 2 – Taxas de evapotranspiração e evaporação no experimento.

Taxas	Tratamentos			
	2 mg L ⁻¹	2,5 mg L ⁻¹	3mg L ⁻¹	3,5mg L ⁻¹
Evapotranspiração pelos bambus	47,76% Aa*	46,97% Aa	44,08% Aa	55,58% Ba
Evaporação pelo solo	10,53% Ab	9,87% Ab	10,53% Ab	9,87% Bb

*Letras maiúsculas comparam as taxas de evapotranspiração e evaporação no experimento entre as dosagens de hormônios; letras minúsculas comparam os tratamentos de solo+bambu com solo (sem bambu).

Em épocas de estiagem a capacidade de autodepuração do corpo hídrico é reduzida devido a redução da vazão (Gomes et al., 2018; Sabater et al., 2018). Portanto, é necessário tratar o efluente com maior eficiência, para evitar a contaminação do solo e das águas, pois o corpo hídrico não conseguirá autodepurar da mesma forma como ocorre no período de chuva (Holanda et al., 2017). A evapotranspiração tem papel crucial nesse aspecto, auxiliando no lançamento para a atmosfera e redução do volume de efluente, tornando o papel da autodepuração mais fácil em função da redução de poluentes.

Alves et al. (2019) verificou que o cultivo de capim-arroz (*Echinochloa crusgalli*), uma espécie já identificada como tolerante a metais como Cd, contribuiu na remoção de EE₂, além de as concentrações testadas não terem interferido na capacidade da espécie realizar fotossíntese. Assim, como o plantio de espécies ornamentais, como o bambu Barriga de Buda, além de auxiliar na redução da concentração de EE₂, conforme observado neste trabalho, ainda promove uma estética agradável, econômica e socialmente aceita (Oliveira et al., 2009) e pode favorecer a ciclagem mais rápida de nutrientes presentes no solo.

Sobre o efeito dos hormônios nas plantas, Adeel et al. (2017) relatam que hormônios como o β -estradiol, progesterona e a androsterona melhoram o crescimento das plantas, devido ao aumento de proteína solúvel e açúcares. Relatam, ainda que estes hormônios são capazes de induzir a produção e enzimas antioxidantes nas plantas, por mecanismos de ativação, que as protegem dos sintomas ocasionados por elementos tóxicos, como alto teor de sais e metais pesados.

Quanto ao solo, Alleoni et al. (2005) relatam que o processo de adsorção é capaz de controlar a concentração de íons e complexos na solução presente no solo. Dessa forma, este processo acaba por exercer uma influência positiva na sua absorção pelas raízes das plantas.

Não existem estudos que utilizam do bambu para remoção de hormônios a partir da utilização de zona de raízes. Entretanto, existem estudos que tratam da fitorremediação para redução da concentração de esteroides sintéticos e naturais da solução por meio da transformação (Lazaro, 2020).

De acordo com Shi et al. (2010) e Zanetoni Filho (2019), a utilização de lemnas no processo de polimento de esgoto já é amplamente discutida, sendo possível observar resultados de remoção de micropoluentes como metal, fármacos e hormônios. Maheshwari et al. (2019), observou que a *Vigna radiata* possui grande potencial de remoção de estrogênio, em que cerca de 76% do poluente foi remediado. Para Hu et al. (2021), isso ocorre porque a planta é capaz de transformar esses fármacos absorvidos em produtos de baixo peso molecular que podem ser eliminados pela respiração ou conjugados a sua estrutura. O uso de plantas para remoção de fármacos é mais eficiente que os tratamentos convencionais, além de possuir baixo custo de implantação e manutenção (Kathar et al., 2023).

A fitorremediação é um método eficaz para remoção de micropoluentes de águas poluídas e deve ser feito sob condições de processo apropriadas. Segundo Polińska et al. (2021), devido às necessidades específicas desse tipo de tratamento, como altos níveis de luz e temperatura, este método é adequado para países localizados em climas relativamente quentes.

CONCLUSÕES

A eficiência de remoção do hormônio 17 α -etinilestradiol a partir de solo foi similar para o solo com o bambu Barriga de Buda (entre 79,77% e 94,44%) e sem a planta no solo (entre 77,54% e 89,98%), aumentando a eficiência da remoção de acordo com o aumento da dosagem de hormônio no solo. Apesar de não haver diferença, há diferença entre a evapotranspiração e evaporação no experimento entre as dosagens de hormônios entre os tratamentos de solo+bambu com solos (sem bambu). A diferença na evapotranspiração justifica a utilização do bambu para redução do volume de efluente.

A utilização de solo vegetado com bambu Barriga de Buda auxilia na diminuição da quantidade de efluente a ser lançado no corpo hídrico, principalmente em período de seca, devido ao seu potencial de evapotranspiração. Este aspecto é de extrema importância devido a capacidade de autodepuração ser reduzida neste período. Por fim, o uso de solo vegetado com bambu Barriga de Buda pode representar uma medida alternativa no tratamento de efluentes com hormônios e outros compostos orgânicos que contaminem os recursos hídricos e que não são tratados convencionalmente.

REFERÊNCIAS

- Adeel, M., Song, X., Wang, Y., Francis, D., & Yang, Y. (2017). Environmental impact of strogens on human, animal and plant life: a critical review. *Environment International*, 99, 107-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.010>
- Alberton, M. B., & Lindino, C. A. (2020). Adsorção do hormônio 17 α -metiltestosterona em solos. *Periódico Thê Química*, 17(35), 948-949. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <http://www.deboni.he.com.br/Periodico35.pdf>
- Alleoni, L. R. F., Iglesias, C. S. M., Mello, S. C., Camargo, O. A., Casagrande, J. C., & Lavorenti, N. A. (2005). Atributos do solo relacionado a adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. *Acta Scientiarum: Agronomy*, 27(4), 729-737. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v27i4.1348>.
- Almeida, R. A., & Ucker, F. E. Considerando a evapotranspiração no cálculo de eficiência de estações de tratamento de efluentes com plantas. *Revista Engenharia Ambiental*, 8(4), 39-445, 2011. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <http://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/20913>
- Alves, L. A. F. (2013). *Atividade estrogênica em efluente de indústria de celulose kraft submetido a tratamento por reator de biofilme com leito móvel* (Trabalho de Conclusão). Departamento Acadêmico de Química e Biologia, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9092>

- Alves, R. T. P., Braga, A. S., Fernandes, K. D., Andradade, S. J., & Própicio, A. M. S. (2019). Rice grass used for water phytoremediation with varying concentrations of 17 α -ethinylestradiol hormone. *Revista Agro@ambiente. Online (Bergheim)*, 13, 256-267. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v13i0.5767>
- Andrade, B. C. C. (2018). *Estimativa da evapotranspiração real via sensoriamento remoto* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/31496>
- Baronti, C., Curini, R., D'Ancenzo, G., Di Corcia, A., Gentili, A., & Samperi, R. (2000). Monitoring Natural and Synthetic Estrogens at Activated Sludge Sewage Treatment Plants and in a Receiving River Water. *Environmental Science & Technology*, 34(34), 5059-5066. <http://dx.doi.org/10.1021/es001359q>
- Barrero, L. Q. R. (2017). *Eficiência de solo vegetado com bambu Barriga de Buda (Bambusa tuldoidea cv. ventricosa), família poaceae, na remoção do hormônio 17 α -etinilestradiol de um efluente sanitário* (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/7943>
- Cabral, D. Q. (2019). *Bases conceituais e ferramentas analíticas à determinação do impacto do estrógeno 17 α -etinilestradiol no metaboloma da alga Ulva lactuca (Chlorophyta)* (Tese de doutorado). Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215031>
- Demonel, A. C. B., Santos, M. F. P., & Vicente, M. A. (2022). Compostos desreguladores endócrinos em água: uma perspectiva bibliométrica. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 8(4), 234-246. <http://dx.doi.org/10.47456/bjpe.v8i3.37988>
- Desbrow, C., Routledge, E. J., Brighty, G. C., Sumpter, J. P., & Waldock, M. (1998). Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. 1. Chemical fractionation and in vitro biological screening. *Environmental Science & Technology*, 32(4), 1549-1558. <http://dx.doi.org/10.1021/es9707973>
- Dias, F. M. R., Silva, A. S. G., Marafon, A. C., Soletti, J. I., Carvalho, S. H. V., & Bispo, M. D. (2022). Pirólise lenta de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* schum): valorização do bio-óleo e do potencial adsorvente do biochar ativado. In *Anais do 40º Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados*. Uberlândia: UFU. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1154393/1/Pirolise-lenta-de-capim-elefante.2022.pdf>
- Faria, E., Lima, D. R. S., Xavier, L. P. S., Aquino, S. F., Afonso, R. J. C. F., & Chernicharo, C. A. L. (2015). Remoção de diclofenaco, bezafibrato e etinilestradiol de esgoto tratado biologicamente em fotorreatores UV. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 20(3), 493-502. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000101320>
- Faria, J. S. A., Araújo, W. E. L., & Marques, F. Z. (2019). Tratamento de efluente da Universidade de Rio Verde, Campus Fontes do Saber com sistema wetlands. *Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade*, 2(2), 1-16. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <http://faengrv.com.br/gts/index.php/revistags/article/view/167>
- Goetz, N. M., Kunst, S. R., Morisso, F. D. P., Oliveira, C. T., & Machado, T. C. (2022). Estudo da eficiência do uso de bambu como bioadsorvente na remoção de azul de metileno. *Revista Matéria*, 27(3), e20220065. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0065>
- Gomes, L. M. F. (2019). *Obtenção e caracterização de bioadsorventes a partir de algas marinhas para remoção de cromo hexavalente em solução aquosa* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5402>
- Gomes, S. H. R., Guedes, H. A. S., Siqueira, T. M., Corrêa, L. B., Andrezza, R., & Hüffner, A. N. (2018). Modelagem sazonal da qualidade da água do Rio dos Sinos/RS utilizando o modelo QUAL-UFMG. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(2), 275-285. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522018169332>
- Guo, M., & Lin, Q., Xu, Z., Zhang, C., Zhao, X., & Tang, T. (2020). Adsorption-desorption behavior of the endocrine-disrupting chemical quinnestrol in soils. *Scientific Reports*, 10, <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-70300-x>
- Henrique, G. C. F.; Ferreira, T. T. C.; Silva, A. A. A.; Santos, I. B. V. M.; Oliveira, E. C. F.; Souza, V. L. M. (2019). Intervenções não farmacológicas no tratamento da neuropatia periférica induzida pela quimioterapia. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, 28, 1-8. <https://doi.org/10.25248/reas.e1029.2019>
- Hermann, A. C., Costa, A. B., Martinhuk, N. G., & Armas, R. D. (2023). Utilização de bactérias como alternativa para biodegradação dos desreguladores endócrinos 17 beta-estradiol e 17 alfa-etinilestradiol. *Epitaya E-Books*, 1(27), 163-174. <http://dx.doi.org/10.47879/ed.ep.2023670p163>
- Holanda, V. P. D., Soares, T. R., Veras, R. S., Alencar, I. F. O., & Sales, R. J. M. (2017). Análise do déficit e da concentração de oxigênio dissolvido no rio Piranhas-Açu, sujeito a lançamento de efluentes, mediante a utilização do modelo de Streeter-Phelps simplificado. *Revista Tecnologia*, 38(1), 55-66. <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.2017.V38.1.55-66>

- Hu, X., Xie, H., Zhuang, L., Zhang, J., Hu, Z., Liang, S., & Feng, K. (2021). A review on the role of plant in pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) removal in constructed wetlands. *The Science of the Total Environment*, 780, 146637. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146637>
- Isecke, B. (2015). *Degradação de etinilestradiol por meio de fotocatalise heterogênea e radiação UV* (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/5289>
- Jonhson, A. C., Aerni, H. R., Gerritsen, A., Gibert, M., Giger, W., Hylland, K., Jurgens, M., Nakari, T., Pickering, A., Suter, M. J. F., Svenson, A., & Wettstein, F. E. (2005). Comparing steroid estrogen, and nonylphenol content across a range of European sewage plants with different treatment and management practices. *Water Research*, 39(1), 47-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2004.07.025>
- Kang, D., Zhao, Q., Wu, Y., Wu, C., & Xiang, W. (2018). Removal of nutrients and pharmaceuticals and personal care products from wastewater using periphyton photobioreactors. *Bioresource Technology*, 248, 113-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.153>
- Kathar, K. R., Wasim, N., Silva, S., Pyrrho, A. S., & Varricchio, M. C. B. N. (2023). Constructed wetlands: technology for removing drug concentration from water. *International Journal of Advanced Engineereing Research and Science*, 10(4), 108-119. <http://dx.doi.org/10.22161/ijaers.104.13>
- Kumar, M., Mazumder, P., & Mohapatra, S., Thakur, A. K., Dhangar, K., Taki, K., Mukherjee, S., Patel, A. K., Bhattacharya, P., Mohapatra, P., Rinklebe, J., Kitajima, M., Hai, F., Khursheed, A., Furumai, H., Sonne, C., & Kuroda. K. (2021). A chronicle of SARS-CoV-2: seasonality, environmental fate, transport, inactivation, and antiviral drug resistance. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 124043. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124043>
- Lazaro, L. C. C. (2020). *Fitorremediação em águas contaminadas com o hormônio estriol* (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <http://hdl.handle.net/11449/204440>
- Maheshwari, G., Setia, K., Mathur, S., & Gauba, P. (2019). Exploring phytoremediation potential for estrogen hormone. *International Journal of Research & Review*, 6(9), 195-202.
- Monteiro, M. D. S. (2021). *Desenvolvimento de eletrodo modificado com óxido de grafeno reduzido pela determinação de 17 α -etinilestradiol* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/14904>
- Oliveira, D. L., Rocha, C., Moreira, P. C., & Moreira, S. O. L. (2009). Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação. *Estudos Goiânia*, 36(11/12), 1141-1159. <http://dx.doi.org/10.18224/est.v36i6.670>
- Omar, T. F. T., Aris, A. Z., Yusoff, F. M., & Mustafa, S. (2018). Occurrence, distribution, and sources of emerging organic contaminants in tropical coastal sediments of anthropogenically impacted Klang River estuary, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 284-293. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.019>
- Paula, L. C., Gonçalves, E. S., Gomes, L. C. A., Moura Júnior, J. C. R., & Oliveira, J. L. M. (2023). Removal of 17 α -ethinylestradiol and total phosphorus in a sequencing batch reactor under two different sludge retention-time conditions. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 18, 1-11. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2898>
- Peixoto, C. P. (Org.). (2020). *Curso de fisiológica vegetal*. Cruz das Almas, BA: UFRB.
- Pereira, L. D. S. (2022). *Hormônios desreguladores endócrinos em matrizes ambientais* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/718>
- Polińska, W., Kotowska, U., Kiejza, D., & Karpińska, J. (2021). Insights into the use of phytoremediation processes for the removal of organic micropollutants from water and wastewater; a review. *Water (Basel)*, 13(15), <http://dx.doi.org/10.3390/w13152065>
- Ribas, P. P., Santos, E. O., Costa, C. C., & Gonzáles, P. L. S. (2021). Estudos sobre remoção de micropoluentes emergentes em efluentes no Brasil: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 9(1), 165-175.
- Rosa, A., Bizetto, D. C., Svenar, S., Schimaleski, A. P. C., & Pedro, B. L. (2020). A contribuição de sistemas de tratamento de esgotos por zonas de raízes para gestão de recursos hídricos na região metropolitana de Curitiba. *Brazilian Journal of Development*, 6(4), 17794-17805. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n4-087>
- Rosa, A., Pedro, B. L., Gefer, M. B., & Svenar, S. (2021). Sistemas de tratamento de esgoto por zona de raízes em área rural. *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 37820-37839. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n4-308>
- Sabater, S., Bregoli, F., Acuña, V., Barveló, D., Elosegi, A., Ginebreda, A., Marcé, R., Muñoz, I., Sabater-Liesa, L., & Ferreira, V. (2018). Effects of human-driven water stress on river ecosystems: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 8(1), 11462. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-29807-7>

- Shi, W., Wang, L., Rousseau, D. P., & Leans, P. N. (2010). Removal of estrone, 17 α -ethinylestradiol, and 17 β -estradiol in algae and duckweed-based wastewater treatment systems. *Environmental Science and Pollution Research International*, 17(4), 824-833. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-010-0301-7>
- Silva, L. C., & Picanço, A. P. (2021). Visão geral sobre as tecnologias sustentáveis do saneamento rural no tratamento de esgotos sanitários no Brasil entre 2008 e 2018. *Revista AIDIS*, 14(3), 1444-1462. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.70540>
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. (2020). *Esgotamento Sanitário*. Recuperado em 19 de outubro de 2023, de <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>
- Ternes, T. A., & Stumpf, U., Mueller, J., Haberer, K., Wilken, R. D., & Servos, M. (1999). Behavior and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants - I. Investigations in Germany, Canada and Brazil. *The Science of the Total Environment*, 225(1-2), 81-90. [http://dx.doi.org/10.1016/s0048-9697\(98\)00334-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0048-9697(98)00334-9)
- Zanetoni Filho, S. A. C. (2019). *Cultivo de Landoltia punctata na remoção de desreguladores endócrinos e no polimento de esgoto sanitário em lagoa com recirculação* (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira. Recuperado em 29 de julho de 2023, de <http://hdl.handle.net/11449/182218>

Contribuições dos autores:

Lullyane de Queiroz Rodrigues Barrero: concepção da metodologia, estruturação dos conceitos, coleta e análise de dados, execução da metodologia e redação do artigo.

Rogério de Araújo Almeida: revisou o artigo (orientador).

Emiliano Lôbo de Godoi: revisou o artigo (coorientador).

Carlos de Melo Silva Neto: análise estatística

Ana Laura Honório Silva: revisão do artigo, aprimoramento de conceitos e padronização das normas de acordo com a revista.