



## II – 498 - INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE CICLO NO DESEMPENHO DE WETLAND CONSTRUÍDO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS

**Sara Maria Paula da Rocha Rodrigues<sup>(1)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE) *campus* Sobral. Mestranda em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza.

**Antonio Marcelo Magalhães Gomes<sup>(2)</sup>**

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo IFCE *Campus* Sobral. Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo (IFCE) *Campus* Fortaleza.

**Joice Maciel dos Santos<sup>(3)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE *campus* Limoeiro do Norte. Mestranda em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza

**Marcus Vinicius Freire Andrade<sup>(4)</sup>**

Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Docente do IFCE *campus* de Sobral.

**Waleska Martins Eloi<sup>(5)</sup>**

Mestre em Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Doutora em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo (USP/ESALQ). Docente do IFCE *campus* de Fortaleza.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Francisco Carvalho e Silva, 90 - Parquelândia - Fortaleza - CE - CEP: 60450-270 - Brasil - Tel: +55 (88) 993506423 - e-mail: [sara.maria.paula07@aluno.ifce.edu.br](mailto:sara.maria.paula07@aluno.ifce.edu.br).

### RESUMO

As *wetland* são consideradas sistemas eficientes na remoção de nutrientes e outros compostos presentes nas águas residuárias, especialmente no tratamento de águas cinzas. Neste estudo, o sistema foi operado com água cinza sintética com objetivo de verificar o efeito das condições operacionais de tempo reacional durante um período de 3 e 11 dias. O meio suporte utilizado baseou-se em materiais alternativos como areia, fragmentos de tijolos e conchas marinhas. O desempenho foi avaliado com base na eficiência de remoção e no cumprimento dos padrões de lançamento estabelecido pela CONAMA 430/2011. Os resultados indicaram que dentro das configurações sugeridas de tempo reacional, o desempenho global do sistema conferiu ao efluente final a qualidade desejada, em 3 dias os valores de desempenho foram adequadamente significativos, não divergindo estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ). Com isso, foi possível observar que, em um curto período de tempo reacional, o sistema atingiu os resultados necessários ao lançamento em corpos hídricos. Conclui-se com a realização do estudo que o sistema apontou bons resultados: DQO (>90%),  $\text{NH}_4^+$  (>60%),  $\text{NO}_3^-$  (>99%) e P (>30%), o tempo de operação igual a 11 dias foi satisfatório a remoção de fósforo, indicando que aumentando o tempo de contato o processo de adsorção é relativamente aumentado com 54,9% de remoção. Deste modo, a escolha de materiais similares ao tijolo cerâmico demonstrou potencial positivo na intensificação da remoção de fósforo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Wetland construído, Águas Cinzas, Remoção de Nutrientes.

### INTRODUÇÃO

A degradação dos corpos hídricos é um problema que está se agravando devido ao aumento da população mundial e à prática de atividades potencialmente poluidoras (BARSZCZ *et al.*, 2019), o que requer a ampliação ao atendimento dos serviços de coleta e tratamento de esgotos domésticos no país, sendo o emprego de *wetlands* construídos - WC de grande aplicabilidade e eficiência, além de se tratar de tecnologias limpa (MESACASA *et al.*, 2022).



De acordo com Silva, Bernardo e Ramos (2015), as WC são sistemas que utilizam o princípio de solo úmido cultivado, onde o complexo solo-microorganismos-rizosfera da planta é responsável pela despoluição das águas residuárias. Esses sistemas podem desempenhar funções semelhantes ao tratamento convencional dos esgotos domésticos por meio de processos físicos, químicos e biológicos.

Diferentemente das tecnologias de tratamento convencionais, as *wetlands* são sistemas descentralizados com custos de operação e manutenção relativamente baixos, simplicidade operacional e bons índices de remoção de poluentes. São constituídos por plantas aquáticas, micro-organismos e o meio filtrante (areia, cascalho ou outro material inerte), que se encontra saturado ou parcialmente saturado (PERONDI *et al.*, 2020).

O tratamento de águas residuárias nesses sistemas reproduz, de certa maneira, os processos naturais que ocorrem em ambientes alagados naturais; a diferença é a introdução de tecnologia, com o objetivo de fazer com que o processo de depuração se desenvolva em condições controladas e em taxas mais elevadas (FIA *et al.*, 2020).

Com infraestruturas simples, apresenta perspectivas de desenvolvimento promissoras, no tratamento de águas residuais domésticas. No entanto, a eficiência desses sistemas pode ser influenciada por uma série de fatores, incluindo variações no tempo de reação. A compreensão do impacto das variações temporais no desempenho dos WCs é fundamental para otimizar sua eficácia.

Deste modo, este artigo tem como objetivo avaliar a eficiência de sistemas de tratamento de efluentes por meio de WC de fluxo vertical, analisando a variação do tempo de reação na remoção de compostos de água cinza sintética.

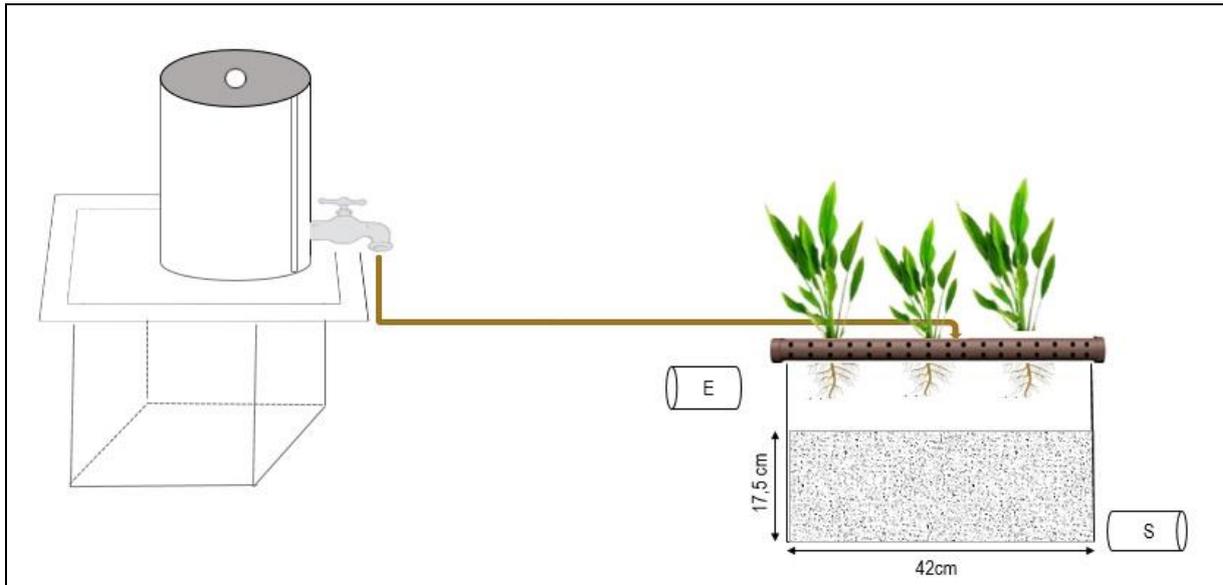
## METODOLOGIA

### LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO

A área de pesquisa foi implantada no *campus* Fortaleza do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE. O sistema completo consistia em dois reservatórios de alimentação e dois *wetlands* construídos verticalmente com fluxo descendente, operando em paralelo. Cada sistema compreendia uma zona de entrada (gotejamento), uma área de tratamento (tempo de contato) e uma zona de saída (tubulação de drenagem).

Para garantir a distribuição uniforme do esgoto sintético no sistema, foram instaladas tubulações de 40 mm perfurada com furos de 8 mm a cada 10 cm, para permitir um fluxo uniforme por toda a área subsuperficial. O efluente tratado era coletado em um dreno com as mesmas características localizadas no fundo da parte extrema do sistema (Figura 1). Os dois *wetlands* construídos eram compostos de plástico polipropileno (dimensões: comprimento 47 cm, largura 34 cm, altura 31 cm), com capacidade de 30 L cada.

Os substratos utilizados para compor o meio suporte foram preenchidos de fragmentos de tijolos cerâmicos (granulometria entre 5 e 10 cm, <10 cm), resíduos de conchas marinhas (0,3 e 0,6 mm) da espécie *Aomalocardia brasiliiana*, oriundas da atividade marisqueira e areia grossa. O substrato ocupou uma altura total de 17,5 cm, correspondendo, a partir da base, ascendente de 10,5 cm de tijolo, 3,5 cm de concha e 3,5 cm de areia. A água residuária era despejada pela parte superior, fluindo através das camadas, e drenadas através de uma torneira após o ciclo de tratamento.



**Figura 1: Desenho esquemático do sistema de wetland construído utilizado**

O experimento foi conduzido em duas condições de tempo reacional, com durações de 3 e 11 dias, selecionadas para avaliar a influência do tempo no desempenho da tecnologia. O estudo ocorreu entre novembro e dezembro de 2023.

O reservatório utilizado para alimentação possuía capacidade útil de 10 L. O sistema era abastecido por gravidade, o efluente sintético era composto de água de poço, com a seguinte composição (g/L) celulose microcristalina (0,15), fosfato de potássio (1,32), cloreto de sódio (25), extrato de carne (10), amido solúvel (0,5), sacarose (0,875), cloreto de amônio (5,1), cloreto de magnésio (0,70), bicarbonato de sódio (10) e cloreto de cálcio (0,45). A espécie de planta escolhida para este tratamento foi a macrófita nativa *Echinodorus subalatus* (Mart.) Griseb. No decorrer do experimento, foram utilizadas três mudas de plantas adultas, espaçadas a uma distância de 10 centímetros entre si. A seleção da *Echinodorus subalatus* (Mart.) Griseb foi motivada pela sua resistência às condições climáticas características da região do semiárido brasileiro, que se destaca por temperaturas elevadas e intensa evaporação, conforme destacado por Bermudez (2022).

A operação do sistema ocorreu após uma fase de adaptação das plantas durante quatro semanas, com um aumento gradual da carga orgânica a cada sete dias, começando em 25% (v/v), 50% (v/v), 75% (v/v) e alcançando 100% (v/v). A fase de adaptação permitiu que as plantas se ajustassem ao sistema, garantindo seu funcionamento adequado. O monitoramento dos sistemas teve início no 28º dia de adaptação, com controle manual da vazão de entrada.

A vazão de distribuição era de aproximadamente 0,000067 m<sup>3</sup>/min. A amostragem do experimento foi realizada por meio de coleta simples, cada sistema possuía uma saída para facilitar a coleta e posterior drenagem. As amostras foram coletadas durante um mês para as análises das variáveis: Nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Nitrogênio nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Fósforo Total (P), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, condutividade elétrica (µS/cm), Potencial de Oxidação Redução (ORP), temperatura (°C), Sólidos Suspensos Totais - SST, Sólidos Dissolvidos Totais - SDT.

O estudo avaliou a eficiência de remoção do processo de tratamento para cada variável, calculada comparando as concentrações na água de entrada (Ci) e na água de saída (Ce), usando a seguinte fórmula:

$$E(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

## ANÁLISE ESTATÍSTICA



As diferenças entre os diferentes TR nos sistemas foram avaliadas como significativas em um nível de 0,05, através da análise de Variância (ANOVA), as análises foram realizada utilizando o *software R 4.3.2*, para avaliar se os diferentes TR de operação tiveram impacto estatisticamente significativo na remoção percentual de cada parâmetro estudado.

## RESULTADOS

Os valores médios resultantes do monitoramento de entrada e saída nos sistemas de WC1 e WC2 são apresentados na Figura 2, exibindo a concentração média de  $\text{NH}_4^+$  (mg/L) (A), PT (mg/L) (B), DQO (mg/L) (C) e a concentração média das frações de sólidos analisadas (mg/L) (D). Posteriormente, será apresentado o desempenho global dessas variáveis.

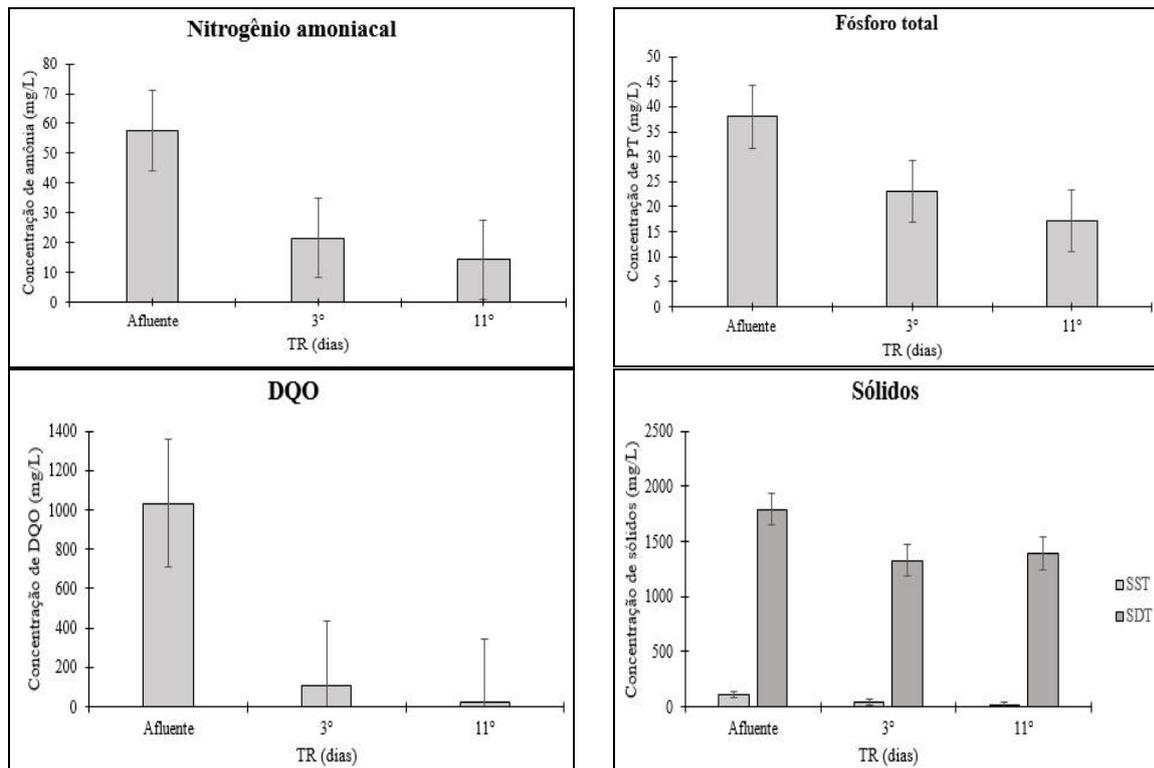


Figura 2: concentração média inicial e desempenho global do sistema

## NITROGÊNIO AMONIACAL

Os resultados obtidos indicam uma notável eficácia na remoção de  $\text{NH}_4^+$  nas unidades de tratamento de águas residuais. A concentração média inicial foi de 57,52 mg/L após o período de contato foi reduzida para 21,50 e 14,21 mg/L, representando uma eficiência de remoção de 62,6 e 75,3% para a WC 1 e WC 2 respectivamente. Desta forma, percebe-se que um tempo de retenção prolongado há uma diminuição gradativa, conforme apresentado pela Figura 2A na remoção de amônia, evidenciando a importância da variável temporal no desempenho da tecnologia. Esses resultados, embora inferiores aos relatados na literatura, apontam para a necessidade de analisar a influência do TR para aprimorar a capacidade de remoção desse composto, destacando a necessidade de um suprimento exógeno de oxigênio.

Estes dados se assemelham ao estudo de Jin *et al.* (2018), que relatou taxas médias de remoção de  $\text{NH}_4^+$  superiores a 90 % em um período de TR de 3 dias. Com base na remoção de  $\text{NO}_3^-$  manteve-se estável no período monitorado e foi consistentemente igual a 100% para as unidades de tratamentos analisadas, isto indica que a desnitrificação foi totalmente conduzida nos WC's e que a nitrificação foi uma etapa limitante (JI *et al.*, 2020). No entanto, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) no período de monitoramento em ambas as variáveis.

O sistema de escoamento subsuperficial com fluxo vertical é destacado como vantajoso para a oxidação da amônia, atribuído ao maior arraste de oxigênio. A concentração interna de oxigênio dissolvido (OD) foi identificada como crucial para regular a nitrificação e aprimorar a eficiência da remoção biológica de N (LIU *et al.*, 2019).

No entanto, é importante ressaltar que a conformidade com a legislação ambiental é um aspecto fundamental da avaliação para lançamento de efluentes. Os resultados obtidos no estudo foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 430/2011. O limite máximo permitido para  $\text{NH}_4^+$  em corpos d'água é de 20 mg/L de acordo com essa legislação. Nesse contexto, as concentrações obtidas nos sistemas WC1 e WC2, após o tratamento, estão em conformidade com os padrões ambientais, uma vez que se mantiveram abaixo do limite estabelecido. Esta conformidade destaca a eficiência dos sistemas de tratamento em atender aos requisitos legais para a descarga de amônia total em corpos d'água.

## FÓSFORO TOTAL

A concentração de P afluente ao sistema foi de 37,97 mg/L (Figura 1B). Os resultados mostram que o percentual de remoção alcançado foi de 39,5 e 54,9 % para os WC 1 e WC 2 respectivamente. Sugere-se que a eficiência da remoção de fósforo pode ser aprimorada aumentando o tempo de contato, fortalecendo assim a adsorção física e a troca iônica pelo leito, conforme apontado por Jin *et al.* (2018). Um estudo adicional realizado por Nandakumar *et al.* (2019) avaliou o potencial de remoção de fósforo em WCs, observando uma variação na eliminação dentro do intervalo de 55,2% a 85,6%, especialmente em leitos cultivados com *Brachiaria* sp. e meios suportes à base de cascalho e areia. Essas considerações indicam que estratégias específicas de operação e escolha de materiais podem influenciar significativamente a eficácia na remoção de fósforo em sistemas de tratamento de águas residuais.

Embora a remoção de fósforo seja considerada um desafio (DE ROZARIO *et al.*, 2015), os resultados obtidos neste estudo foram bons. No entanto, Lima *et al.* (2018), ao explorar a viabilidade do uso de substratos de baixo custo em WCs de escoamento vertical, destacaram que o uso de tijolos de cerâmica vermelha, material de composição semelhante ao granulado empregado, pode intensificar a remoção de fósforo. Nesse contexto, a escolha de materiais similares, como o tijolo, pode ter contribuído positivamente para o cenário de remoção observado neste estudo.

Os principais mecanismos relacionados à escolha do material para remoção em WC's estão associados à capacidade de adsorção ao substrato pelo material utilizado na composição do leito (RODRIGUES *et al.*, 2022). Assim, uma melhoria significativa na eficiência de remoção pode ser alcançada ao fazer uma escolha apropriada do tipo de material.

É importante observar que, no Brasil, a competência para estabelecer condições e padrões de lançamento de efluentes é do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que não estabelece um valor definido para ser considerado. No Ceará, a competência normativa sobre o lançamento do efluente é do Conselho Estadual de Meio Ambiente – COEMA. Até o momento, também não há um valor definido previsto para o lançamento de fósforo, sendo essa situação relacionada à prevenção da eutrofização em corpos hídricos.

## MATÉRIA ORGÂNICA

A concentração de matéria orgânica em termos de DQO, medida no afluente foi, em média, de 1033,7 mg/L (Figura 1C). Ambos os sistemas apresentaram eficiências de remoção notáveis, alcançando 89,3% e 98% para WC 1 e WC 2, respectivamente, evidenciando um desempenho satisfatório na remoção de matéria orgânica. Ao

longo do tempo de monitoramento, as taxas de diminuição de DQO aumentaram nas unidades, embora sem diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre elas.

Yadav; Chazarenc; Mutnuri (2018), operando um wetland construído de fluxo vertical durante 8 semanas, obteve uma remoção média de DQO de 90%. Outra pesquisa realizada por Fernandez-Fernandez *et al.* (2020), demonstrou taxas elevadas de remoção de DQO ( $> 90\%$ ) ao tratar águas residuárias urbanas em escala piloto, utilizando um wetland construído híbrido em um ciclo de 3 a 5 dias. Ao comparar os resultados obtidos neste estudo com a literatura, observam-se resultados satisfatórios operando em um tempo menor e em estágio único.

Com base nesses resultados, pode-se inferir que as condições estabelecidas favoreceram a ocorrência de processos aeróbios para a degradação da matéria orgânica. No entanto, a duração do regime operacional de 11 dias não demonstrou diferenças significativas nos resultados obtidos.

É relevante notar que, a legislação federal não estabelece um valor limite para a concentração de DQO em efluentes, proporcionando autonomia aos estados. No contexto estadual, a legislação COEMA nº 2 de 2017 define um limite de até 200 mg/L para efluentes provenientes de estações de tratamento. Essa regulamentação destaca a importância de considerar as especificidades legislativas estaduais ao avaliar a conformidade dos sistemas de tratamento com os padrões ambientais aplicáveis.

## PH, POTENCIAL DE OXIDAÇÃO E REDUÇÃO E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Na Tabela 1 estão os valores médios referentes a pH, ORP e CE das entradas e saídas dos sistemas.

Variável	Afluente	Efluente	
		WC1 (3 dias)	WC2 (11 dias)
pH	7,41	7,45	7,8
ORP (mV)	257	43,3	188,7
CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	1673	2100	1817

**Tabela 1: Valores médios de pH, ORP e CE analisados**

A variação do pH no efluente em relação ao afluente foi pequena, mantendo-se com valores de 7,45 e 7,8 para WC 1 e WC 2, respectivamente. Essa proximidade com a neutralidade sugere que não houve influência significativa no desempenho dos microrganismos ( $p > 0,05$ ) e, por conseguinte, na remoção de nutrientes, alinhando-se com os padrões de descarga recomendados (pH 5–9) pela CONAMA nº 430/2011.

Simultaneamente, os valores de Potencial de Oxidação-Redução (ORP) nas amostras de afluentes (257 mV) e efluentes variaram de 43,3 mV no WC 1 a 183,7 mV no WC 2. A variação desses valores dentro de um WC indica a existência de diversas vias de remoção do poluente, cada uma com um ORP ótimo para o processo. O sistema permaneceu em condições aeróbias ao longo do experimento, como evidenciado pelos valores nas amostras de saída, oscilando entre -100 mV (fortemente anaeróbico) e + 400 mV (totalmente aeróbico). O aumento observado no ORP pode ser atribuído à aeração da zona devido à drenagem, contribuindo para condições aeróbias (SÁNCHEZ; RUIZ; SOTO, 2023).

Em relação à condutividade, os valores observados nos efluentes usados foram relativamente maiores em comparação com a condutividade registrada no efluente bruto, com valores de 1673  $\mu\text{S/cm}$  para a entrada e 2100, 1871  $\mu\text{S/cm}$ , para os WC1 e WC 2 respectivamente. Esse aumento pode estar relacionado à passagem do efluente pelo leito filtrante, resultando na presença de íons que favoreceram o aumento na condutividade.

## SÓLIDOS

A redução dos SST foi relativamente eficiente conseguindo atingir uma média de 59,4 e 83,6%, nos WC 1 e WC2, respectivamente. Quantitativamente, houve redução em média do afluente de 110 mg/L para 18 mg/L, no



WC 2, verificando-se diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os tempos analisados. Com relação a SDT, a eficiência do sistema manteve-se inferior a 30% (Figura 1D), o que pode ter influenciado o aumento na Condutividade elétrica (RASSOL *et al.*, 2023). A velocidade de fluxo do efluente e o tempo de contato disponível desempenham um papel crucial na eficiência de remoção, e para certos sólidos dissolvidos, uma interação insuficiente devido a uma taxa de fluxo inadequada pode comprometer a eficácia da remoção. Além disso, a necessidade de abordagens específicas para certos sólidos dissolvidos, como o uso de materiais adsorventes ou tratamentos químicos específicos, pode não estar totalmente otimizada nos WCs em questão.

Com relação ao atendimento a legislação, a COEMA n° 2 de 2017 adota a concentração de 100 mgSST/L para efluentes sanitários. Assim, a eficiência alcançada nos sistemas WC1 e WC2 em relação aos SST atende aos padrões estabelecidos pela legislação estadual vigente. Contudo, é importante ressaltar a necessidade de uma avaliação contínua para garantir a conformidade ao longo do tempo e considerar estratégias adicionais caso seja necessário otimizar a remoção de SDT.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Os WCs tiveram bom desempenho no tratamento da água cinza com boa na remoção de diversos poluentes, como amônia, matéria orgânica e sólidos suspensos totais. A eficácia desses sistemas, embora destacada, revelou desafios específicos, como a remoção de fósforo e sólidos dissolvidos, indicando a necessidade de estratégias específicas, como o aumento do tempo de contato e a escolha criteriosa de materiais de suporte.

Os resultados obtidos ressaltam a importância da variável temporal no desempenho da tecnologia, evidenciando que tempos de retenção prolongados contribuem para uma diminuição gradativa na remoção de amônia. Além disso, a escolha de materiais similares ao tijolo cerâmico demonstrou potencial positivo na intensificação da remoção de fósforo.

A estabilidade na remoção de nitrogênio nitrato indica a conclusão eficiente da desnitrificação nos WCs, sugerindo que a tecnologia empregada favoreceu a ocorrência de processos aeróbios para a degradação da matéria orgânica. As análises de pH, ORP e condutividade elétrica indicaram condições favoráveis para o desempenho dos microrganismos, alinhando-se aos padrões de descarga recomendados. Os resultados indicam que, apesar de algumas eficiências inferiores em comparação com a literatura, os sistemas demonstraram conformidade com os padrões ambientais estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 430/2011 e legislação estadual COEMA n° 2 de 2017.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARSZCZ, L. B.; BELLATO, F. C.; BENASSI, R. F.; MATHEUS, D. R. Avaliação ecotoxicológica de efluentes tratados por alagados construídos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 1147-1156, 2019.
2. CHEN, R. Exploring organic matter conversion pathway and its effect on nitrogen removal in tidal flow constructed wetlands. **Chemosphere**, v. 349, 2024.
3. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011. Estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 20 de fev. de 2024.
4. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução COEMA n° 2, de 2 de fevereiro de 2017, *Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE n° 154, de 22 de julho de 2002 e n° 111, de 05 de abril de 2011, e altera a*



- Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002.* Diário Oficial do Estado, Fortaleza. Disponível em: < <https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2019/09/COEMA-02-2017.pdf>> . Acesso em: 20 de fev. de 2024.
5. DE ROZARI, P.; GREENWAY, M.; EL HANANDEH, A. An investigation into the effectiveness of sand media amended with biochar to remove BOD<sub>5</sub>, suspended solids and coliforms using wetland mesocosms. **Water Science and Technology**, v. 71, p. 1536-1544, 2015.
  6. FERNANDEZ, M. I. et al. Hybrid constructed wetland to improve organic matter and nutrient removal. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 7, 2020.
  7. FIA, F. R. L. et al. Dinâmica do fósforo em sistemas alagados construídos tratando água residuária da suinocultura. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 79-86, 2020.
  8. JI, B. et al. Roles of biochar media and oxygen supply strategies in treatment performance, greenhouse gas emissions, and bacterial community features of subsurface-flow constructed wetlands. **Bioresource Technology**, v. 302, 2020.
  9. JIN, Z. et al. Blackwater treatment using vertical greening: Efficiency and microbial community structure. **Bioresource Technology**, v. 249, 2018.
  10. LIMA, M. X. Performance of different substrates in constructed wetlands planted with *E. crassipes* treating lowstrength sewage under subtropical conditions. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 1365-1373, 2018
  11. LIU, F. F. Intensified nitrogen transformation in intermittently aerated constructed wetlands: Removal pathways and microbial response mechanism, **Science of the Total Environment**, v. 650, 2019.
  12. MESACASA, L.; KERSTING, M.; FOCHI, D.; RODRIGUEZ, A.; M., Ê. WETLANDS CONSTRUÍDOS: uma alternativa de tecnologia limpa para o tratamento de efluentes líquidos. Anais - Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-5, 21 nov. 2022.
  13. PERONDI, T.; WOLFF, D. B.; DECEZARO, S. T.; ARAUJO, R. K. de. Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 175-189, jun. 2020.
  14. RASOOL, T. Performance evaluation and microbial profiling of integrated vertical flow constructed wetland (IVFCW) for simultaneous treatment of domestic and pulp and paper industry waste water. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 30, n. 12, p. 2023.
  15. RODRIGUES, E. B. et al. Utilização do biocarvão como meio filtrante de pantanal construído verticalmente empregado no tratamento de esgoto bruto. **Revista DAE**, v. 70, n. 235, p. 180-192, 2022.
  16. SÁNCHEZ, M.; RUIZ, I.; SOTO, M. Sustainable wastewater treatment using a new combined hybrid digester – Constructed wetland system. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 5, 2023.
  17. SILVA, S. C. da; BERNARDES, R. S.; RAMOS, M. L. G. Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 533-542, 2015. YADAV, A.; CHAZARENC, F.; MUTNURI, S. Development of the “French system” vertical flow constructed wetland to treat raw domestic wastewater in India. **Ecological Engineering**, v. 113, 2018.