

II-626 - REDUÇÃO DE PARACETAMOL EM SISTEMA DE TANQUE SÉPTICO E WETLAND CONSTRUÍDO VERTICAL

Ronaldo Kanopf de Araújo⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Franciscana. Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Delmira Beatriz Wolff⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestra e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professora Associada da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

André Azevedo Machado⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Sheron Maciel Manganeli⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Juliana Hermes Feijó⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Endereço⁽¹⁾: Rua dos Jasmins, 165 – Patronato – Santa Maria – RS – CEP: 97020-420 – Brasil – Tel: (55) 99140-1-84 – e-mail: ronaldo.kanopf@gmail.com

RESUMO

Os wetlands construídos são sistemas bem estabelecidos e conhecidos mundialmente para o tratamento de efluentes domésticos. No Brasil ainda são pouco utilizados, sendo necessários estudos aprofundados sobre a remoção não apenas de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada, mas também dos chamados contaminantes emergentes, presentes nos esgotos. Sendo assim, torna-se necessário que se busque a remoção de fármacos e desreguladores endócrinos das águas residuárias, de forma a garantir que não sejam lançados no meio ambiente, podendo causar efeitos adversos aos organismos aquáticos e atingir águas de abastecimento humano. Esses compostos químicos podem ser encontrados em água superficial, subterrânea e até mesmo em água para consumo nas estações de tratamento de água, isto devido ao seu elevado consumo e, porque os sistemas de tratamento atualmente existentes, não permitem a remoção completa. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a redução de paracetamol em um sistema experimental de tratamento de efluentes domésticos junto à Casa do Estudante Universitário no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), constituído por tanque séptico (TS) seguido de wetland construído de fluxo vertical (WCFV). A medição de vazão foi realizada em quatro pontos, utilizando medidores ultrassônicos e eletromagnéticos. Foram realizadas coletas de amostras de esgoto bruto, esgoto tratado no TS e esgoto tratado no WCFV para as análises. Foram realizadas no total 38 amostragens para determinação de paracetamol utilizando UHPLC/MS-MS. Foi possível detectar em 100% das amostragens o paracetamol. O sistema experimental de tratamento de esgotos composto por tanque séptico e wetland construído fluxo vertical com brita e recirculação apresenta elevadas eficiências na remoção de microcontaminantes na corrente líquida de esgoto doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento Ambiental, Tratamento de Esgoto Doméstico, Filtro Plantado com Macrófitas, *Canna x generalis*, Fármacos.

INTRODUÇÃO

Pesquisas têm documentado que muitos produtos químicos e seus constituintes que historicamente não eram considerados contaminantes estão presentes no ambiente, em escala global, em águas superficiais e subterrâneas (MOMPELAT et al., 2009; DAUGHTON, 2010). Esses poluentes emergentes podem estar presentes em águas residuárias municipais, da agricultura e industriais. Essas substâncias, reconhecidas recentemente como contaminantes, representam uma mudança de pensamento na forma como são produzidas e descartadas como resíduo. As concentrações encontradas tipicamente em amostras ambientais são baixas.

Porém, a grande variedade de compostos já detectados, a possibilidade de ocorrerem efeitos cumulativos e simultâneos das suas concentrações, associado ao grande potencial de interação bioquímica devido à própria natureza destas substâncias, tornam estes poluentes motivo de grande preocupação e tema de diversos trabalhos de investigação. (DOLAR et al., 2012; DORDIO; CARVALHO, 2013; DORDIO et al., 2009; HUSSAIN et al., 2012; QIANG et al., 2013; SANTOS et al., 2013). Assim, as implicações resultantes da descarga de fármacos no ambiente aquático sugerem a urgente necessidade de encontrar processos complementares ou alternativos eficientes e economicamente viáveis. Devido à existência de outros tipos de contaminação que não havia ou não se conhecia há poucos anos, hoje há a necessidade de inclusão de poluentes emergentes em programas de monitoramento ambiental e nas normativas ou legislações de controle ambiental. No Brasil, a resolução CONAMA n. 430, de 2011, não contempla condições e padrões de lançamento de poluentes emergentes em corpos hídricos.

Os wetlands construídos são atualmente uma tecnologia bem estabelecida mundialmente para o tratamento de efluentes domésticos. Há milhares de sistemas de tratamento deste tipo em municípios, áreas agrícolas e industriais na América do Norte e Europa, e um número crescente de sistemas de tratamento de fontes pontuais e não pontuais de poluição no mundo. Estes sistemas apresentam uma grande variedade de projetos, áreas superficiais, taxas e fluxos, qualidade de afluentes e efluentes, propriedades hidráulicas e requisitos de monitoramento. Informações a partir das experiências operacionais aplicadas no mundo todo podem ser usadas para formar diretrizes de projeto para sistemas de WC no Brasil.

Os wetlands construídos de escoamento vertical aparentam ser mais eficientes e confiáveis na remoção de alguns compostos químicos como diclofenaco, ibuprofeno, ácido acetilsalicílico e cafeína do que filtros com outras configurações. Isto pode ser atribuído à menor influência de situações de sobrecarga, tempo de detenção hidráulica menor e melhor oxigenação em fluxos não saturados (MATAMOROS et al., 2007; MATAMOROS et al., 2009). Entretanto, há um pequeno número de estudos conduzidos com wetlands construídos de escoamento vertical na avaliação da remoção de fármacos, o que torna a superioridade dessa configuração ainda inconclusiva, como Ávila et al. (2013), Ávila et al. (2014), Matamoros et al. (2007) e Sgroi et al. (2018).

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a redução de paracetamol no tratamento de esgoto doméstico por tanque séptico seguido de wetland construído de escoamento vertical. A redução média de paracetamol no sistema de tratamento de esgotos domésticos constituído por tanque séptico e wetland construído de escoamento vertical foi elevada, de 86,3%, com utilização de 50% de recirculação dos efluentes do WCFV ao TS (TAH = 90 mm d⁻¹) e as plantas *Canna x generalis* e *Canna indica*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa foi avaliada a redução de paracetamol em uma Estação de Tratamento de Esgotos Experimental, constituída por um tanque séptico e um wetland construído de escoamento vertical. A ETE funciona em escala piloto, diariamente, de forma automatizada, com ocorrência de alguns casos isolados de falta de esgoto para alimentação do sistema em finais de semana que coincidam com algum feriado. Apesar de tratar-se de um experimento em escala-piloto, o sistema funciona sob condições reais, para o tratamento de águas residuárias domésticas não-segregadas, com entrada da precipitação pluviométrica no wetland construído.

A ETE foi dimensionada para o tratamento de 1500 L de esgoto por dia, equivalente a uma residência multifamiliar com 10 habitantes.

O tanque séptico circular foi construído abaixo do nível do solo, dimensionado de acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993), conforme Equação 1. Considerou-se uma habitação unifamiliar com número de pessoas (N) = 10 habitantes, uma contribuição de efluente bruto de 3.000 L d⁻¹ (contribuição de 150 L pessoa⁻¹) mais a vazão de 100% recirculação (efluente tratado no WCFV que retorna ao tanque séptico), uma contribuição de lodo fresco (Lf) de 1 L pessoa⁻¹ d⁻¹, tempo de detenção (T) de 1 d, intervalo de limpeza de 1 ano e taxa de acumulação total de lodo (K) de 65 dias. Dessa forma, o TS foi projetado para um volume útil total de 4,65 m³. As dimensões resultantes foram: profundidade útil = 1,5 m; diâmetro = 2,0 m e A = 3,39 m³.

O tanque séptico foi chamado de modificado, pois a entrada de esgoto bruto ocorreu de forma intermitente, com variação de nível d'água dentro do tanque. Quando há o rebaixamento a um determinado nível, automaticamente são acionados sensores de nível instalados dentro do tanque (boias elétricas) para que ocorra a entrada de esgoto bruto. Além disso, este tanque, diferentemente dos tanques sépticos convencionais, foi projetado por receber juntamente com o esgoto bruto, o efluente do WCFV, que contém alta concentração de N-NO_3^- .

O WCFV foi dimensionado para uma TAH de 120 mm d^{-1} , considerando a aplicação de 100% de recirculação. Dessa forma, para atender a uma vazão de esgoto bruto de 1.500 L d^{-1} (equivalente a 10 pessoas, com contribuição de $150 \text{ L pessoa}^{-1} \text{ d}^{-1}$) mais um cenário de 1.500 L d^{-1} de recirculação (100%), a vazão afluyente ao WCFV deve ser aproximadamente 3.000 L d^{-1} . Para essa vazão e uma TAH de 120 mm d^{-1} , a área superficial necessária é de 25 m^2 . Como a relação comprimento/largura adotada foi igual a 2, as dimensões resultantes do WCFV foram 7 m de comprimento por 3,5 m de largura, ou seja, área superficial de $24,5 \text{ m}^2$.

Figura 1: Estação de tratamento de esgoto experimental

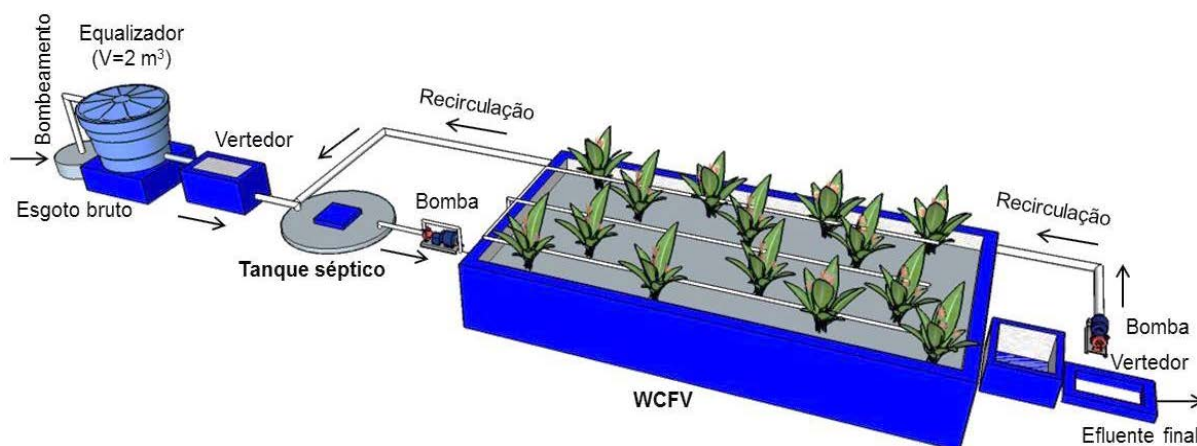


O WCFV foi plantado com *Canna x generalis* e *Canna indica*. Foi aplicada uma taxa de recirculação de 50% do efluente do WCFV ao TS, utilizando uma bomba centrífuga, com objetivo principal de realizar a nitrificação e a desnitrificação, conforme Decezaro (2018).

A caracterização quantitativa foi feita por meio de medição de vazão em quatro pontos distintos no sistema experimental, denominados pontos efluente bruto (EB), tanque séptico (TS), wetland construído (WC) e recirculação ao tanque séptico (QR).

A medição de vazão de entrada de esgoto bruto no TS foi realizada por meio de um medidor ultrassônico da marca Incontrol, instalado em um canal com vertedor triangular. A medição de vazão de entrada de esgoto do TS, no WCFV e também a medição de vazão de recirculação foi feita com a utilização de medidores eletromagnéticos da marca Incontrol instalados na tubulação.

Figura 2: Fluxograma das unidades de tratamento



Foram realizadas 38 coletas de amostras, no período de fevereiro a setembro de 2017. O paracetamol foi analisado por Cromatografia Líquida de Ultra Alta Eficiência (UHPLC-MS/MS, *Ultra High Pressure Liquid Chromatography*). O sistema UHPLC-MS/MS (Xevo-TQ, Waters, EUA) é equipado com: Cromatógrafo líquido modelo Acquity, composto de sistema controlador de solventes (sistema binário de bombas) para operação de gradientes e alta pressão e sistema de injeção com agulhas de Poliéter-eter-cetona (PEEK) dentro da agulha de aço; Detector MS do tipo quadrupolo, modelo Xevo TQ; Coluna analítica Acquity UPLC BEH C18 (100 x 2,1 mm d.i., 1,7 µm) Waters (EUA); Coluna analítica Acquity UPLCTM HSSTM (100 x 2,1 mm d.i., 1,7 µm) Waters (EUA); Nitrogênio com pureza $\geq 99\%$ a partir de gerador de nitrogênio Peak Scientific (Escócia) modelo NM30L-MS; Sistema de aquisição de dados por meio do software MassLynx 4.1 (Waters, EUA). Os reagentes utilizados foram: paracetamol grau HPLC marca Sigma Aldrich, acetona grau HPLC marca J. T. Baker, acetonitrila grau HPLC marca J. T. Baker, metanol grau HPLC J. T. Baker e EDTA grau PA marca Vetec.

RESULTADOS

O paracetamol foi detectado com 100% de frequência no efluente doméstico da Casa do Estudante Universitário da UFSM, em todas as amostragens realizadas, com concentração média de $71,08 \pm 87,14 \mu\text{g L}^{-1}$ no esgoto bruto, $33,10 \pm 34,56 \mu\text{g L}^{-1}$ no efluente tratado do tanque séptico e $13,29 \pm 14,70 \mu\text{g L}^{-1}$ no efluente tratado do wetland construído. A concentração máxima encontrada no esgoto bruto foi de $428,46 \mu\text{g L}^{-1}$.

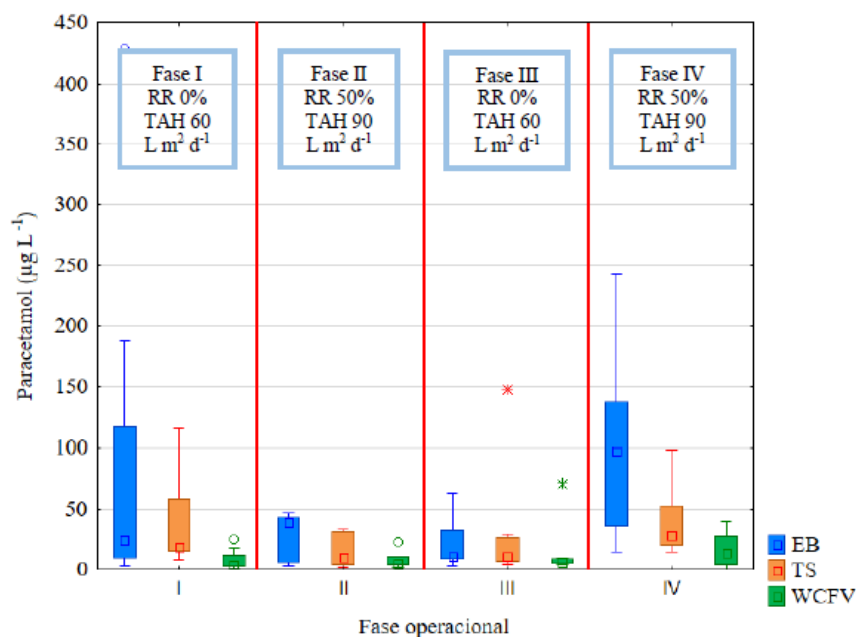
A eficiência média de redução de PCT apenas no TS foi de 53,87%. A eficiência média de redução no WCFV foi de 59,85%. Vale ressaltar que o TDH no WCFV é muito pequeno, ocorrendo a percolação dos efluentes pelo maciço filtrante em poucos minutos. Isto demonstra o potencial de tratamento de poluentes emergentes utilizando sistemas descentralizados e robustos, mesmo com pouco tempo de contato das substâncias poluentes com o material filtrante.

Tabela 1: Concentração de paracetamol nos efluentes

Fase	Coleta	Data	EB	Média	TS	Média	WC	Média
I	1	18/01/2016	17,3	91,66	17,08	38,68	1,28	7,94
	2	25/02/2016	3,1		14,75		3,68	
	3	02/03/2016	2,5		7,71		2,24	
	4	06/03/2016	428,5		94,65		17,96	
	5	15/03/2016	187,3		115,40		24,95	
	6	12/05/2016 (08:30)	20,4		17,75		4,56	
	7	12/05/2016 (17:15)	46,3		19,38		5,34	
	8	19/05/2016	28,0		22,71		3,51	
II	9	02/06/2016	43,3	29,5	33,53	14,88	11,25	8,17
	10	21/07/2016	39,1		4,08		3,98	
	11	28/07/2016	3,1		2,17		1,76	
	12	11/08/2016	5,5		6,56		4,77	
	13	19/08/2016	39,2		12,18		4,19	
	14	25/08/2016	46,6		30,79		23,09	
III	15	14/09/2016	36,2	21,45	10,59	28,42	6,96	13,50
	16	29/09/2016	31,7		29,29		8,70	
	17	27/10/2016	62,9		16,29		9,45	
	18	23/11/2016	10,7		6,06		6,17	
	19	30/11/2016	9,2		3,88		3,76	
	20	15/12/2016	10,2		7,93		5,00	
	21	20/12/2016	5,8		6,86		4,81	
	22	26/01/2017	22,9		148,27		70,80	
	23	02/02/2017	3,4		26,64		5,89	
	24	08/02/2017	27,8		31,66		18,30	
IV	25	16/02/2017	119,1	97,5	20,52	38,04	8,13	16,10
	26	23/02/2017	14,7		25,22		10,92	
	27	28/03/2017	136,9		98,54		38,64	
	28	19/04/2017	36,1		14,67		3,85	
	29	26/04/2017	153,8		25,02		17,93	
	30	16/05/2017	23,5		20,52		8,13	
	31	07/06/2017	119,1		31,66		17,40	
	32	13/06/2017	243,0		52,67		30,59	
	33	18/07/2017	107,1		77,39		39,68	
	34	25/07/2017	39,2		16,92		3,17	
	35	01/08/2017	184,3		28,64		13,47	
	36	15/08/2017	67,7		22,58		3,91	
	37	12/09/2017	97,6		74,20		27,08	
	38	19/09/2017	93,2		30,35		0,36	
Média			58,40	49,48	25,87	27,11	11,82	12,59
Desvio padrão			84,31	40,12	35,13	11,12	13,79	4,04
Máximo			428,46	97,53	148,27	38,68	70,80	16,10
Mínimo			2,54	21,45	2,17	14,88	1,28	7,94

Na Figura 3 apresentam-se as reduções de paracetamol nas campanhas de amostragem realizadas nas diferentes fases operacionais. A redução média de paracetamol no sistema de tratamento de esgotos domésticos constituído por tanque séptico e wetland construído de escoamento vertical foi de 86,3%, com utilização de 50% de recirculação dos efluentes do WCFV ao TS (TAH = 90 mm d⁻¹) e as plantas *Canna x generalis* e *Canna indica*.

Figura 3: Box Plot com as concentrações de paracetamol para EB, TS e WCFV nas quatro fases operacionais (Fases I e III sem recirculação; Fases II e IV com recirculação)



Foi verificada diferença estatística significativa entre as quatro fases operacionais tanto nas concentrações quanto nas reduções de cafeína e paracetamol, de acordo com o teste estatístico Kruskal-Wallis aplicado, com nível de significância de 5%, utilizando o software Statistica 13.3.

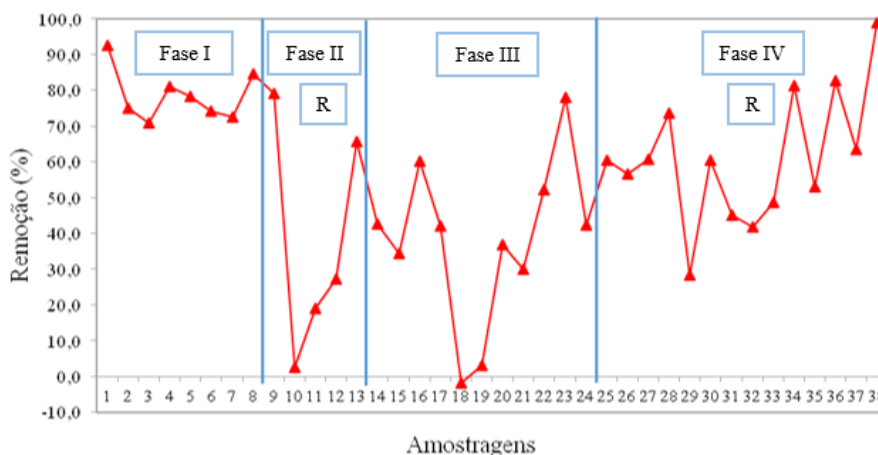
O teste de comparações múltiplas demonstrou que há diferença significativa entre as fases I e III na remoção de paracetamol. Também foi verificada diferença significativa entre as fases III e IV. A fase IV foi a que apresentou maior remoção de paracetamol, considerando a eficiência em concentração.

Na Figura 21 apresenta-se a remoção de paracetamol no WCFV. Houve bastante variação na remoção ao longo do período de monitoramento, com remoção média de 72,4% no WCFV. A remoção máxima observada foi de 98,8% (Fase IV) e a mínima foi de -1,9% (Fase III). As maiores eficiências foram observadas na Fase I e na Fase IV, assim como ocorreu para a cafeína.

As concentrações de paracetamol detectadas no esgoto da Casa do Estudante Universitário foram muito altas, com média de $58,41 \pm 84,31 \mu\text{g L}^{-1}$. A concentração máxima verificada foi extremamente alta, sendo de $428,46 \mu\text{g L}^{-1}$, o que pode estar relacionado com a automedicação, pois o paracetamol é um medicamento que é vendido em farmácias no Brasil sem a necessidade de prescrição médica. A concentração mínima detectada foi de $2,54 \mu\text{g L}^{-1}$.

Qarni et al. (2016) consideraram alta a concentração de paracetamol encontrada em efluente hospitalar na Arábia Saudita, de $12 \mu\text{g L}^{-1}$, o que mostra que as concentrações observadas na UFSM estão muito acima daquelas obtidas em outras pesquisas no mundo.

Figura 4: Redução de paracetamol no WCFV



As elevadas reduções encontradas nesta pesquisa estão de acordo com o esperado para o wetland construído de fluxo vertical, que apresenta condições aeróbias adequadas para que ocorra a degradação de poluentes emergentes, funcionando sem saturação do meio filtrante (MATAMOROS et al., 2013).

As maiores reduções de paracetamol foram obtidas quando foram encontradas as maiores concentrações desses poluentes. Isso pode ser explicado pelo fato da biodegradação requerer uma certa concentração do composto antes que a degradação microbiana possa ser estimulada. Além disso, maiores concentrações por período mais longo provocam a adaptação dos microrganismos (SPAIN; VAN VELD, 1983). Esta observação também foi feita por Matamoros et al. (2016) para os mesmos poluentes.

Zhang et al. (2018) afirmam que os mecanismos que contribuem para a redução de poluentes emergentes são a adsorção ao substrato e a degradação microbiana em wetlands construídos.

Além disso, o crescimento das plantas e a ocorrência da interceptação vegetal, aumentando o tempo de detenção, podem ter criado melhores condições de tratamento no biofilme (LI et al., 2014, VERLICCHI; ZAMBELLO, 2014) e consequentemente aumentado a biodegradação dos micropoluentes. Um efeito similar foi reportado por White et al. (2006) e Matamoros e Bayona. (2008). Entretanto, o mecanismo de biodegradação é dependente da sazonalidade (DORDIO et al., 2010), bem como mudanças na exposição solar, temperatura e disponibilidade de matéria orgânica, influenciando na redução de compostos químicos.

Os maiores tempos de percolação médios do WCFV foram encontrados durante a fase I, com a planta *Heliconia psittacorum* e pulsos de 7,5 mm. O tempo de percolação médio no WCFV nesta fase atingiu o valor máximo de 37 minutos (DECEZARO, 2018).

Na fase II, com a morte das plantas de *Heliconia psittacorum* e com o uso de pulsos de volume maior do que na fase anterior (11,3 mm), o tempo de percolação médio chegou ao valor mais baixo de todo o período, de 12 min. Nessa condição, num cenário de morte das plantas, frio intenso e diminuição brusca na eficiência de tratamento, a redução da TAH foi necessária na época (DECEZARO, 2018). Percebe-se uma diminuição nas eficiências de redução paracetamol, podendo estar relacionada com a condição operacional desta época, sem a presença das plantas no filtro.

Durante um novo período de adaptação, com o transplante de *Canna* spp. (fase III), o sistema operou sem recirculação, com pulsos de 7,5 mm. Com essa mudança operacional, o tempo médio de percolação subiu de 12 para 17 min. Entretanto, apesar do WCFV ter sido operado com as mesmas TAH nas fases I e III, os tempos de percolação médios foram diferentes em ambas as fases. Este fato, conforme Decezaro (2018), demonstra o possível efeito da espécie de planta utilizada bem como do seu estágio de desenvolvimento na hidrodinâmica do sistema. Uma hipótese é que, durante a fase I, o maior desenvolvimento das plantas, tanto da parte aérea quanto da parte subterrânea, possa ter sido responsável pelos maiores tempos de percolação (DECEZARO, 2018). De acordo com Decezaro (2016), que avaliou a hidrodinâmica deste mesmo sistema (período de start

up), a parte aérea da *Heliconia psittacorum* interceptava uma parte da água residuária aplicada (devido à utilização da tubulação de alimentação elevada em relação à superfície da unidade wetland), e o crescimento das raízes e rizomas pode reduzir a permeabilidade do meio.

Com o desenvolvimento da *Canna* spp. e melhoria do desempenho de tratamento, foi retomada a recirculação (Fase IV) na razão de 50%, que resultou novamente em pulsos de 11,3 mm. O efeito positivo do desenvolvimento das plantas no aumento do tempo de percolação, foi notado novamente por volta de 550 dias de operação, passando a 20 minutos. Nesta fase, mesmo aplicando maiores volumes por pulso, de 11,3 mm, o tempo de percolação aumentou em comparação à fase III. Contudo, ainda durante a fase IV (por volta dos 750 dias de operação), o tempo de percolação médio reduziu a 14 minutos (DECEZARO, 2018). Isto pode ter ocorrido devido à criação de caminhos preferenciais pelos rizomas das plantas (TORRENS et al., 2009, COTA, 2011), considerando que foi decorrido um longo período após o transplântio de *Canna* spp., superior a um ano.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A redução média de paracetamol no sistema de tratamento de esgotos domésticos constituído por tanque séptico e wetland construído de escoamento vertical foi de 86,3%.

O mecanismo principal de remoção de fármacos no WCFV pode ser a biodegradação aeróbia pelo contato com o biofilme microbiano, além da assimilação pelas plantas, e no TS a biodegradação anaeróbia, bem como a acumulação no lodo, que necessita ser avaliado futuramente.

A utilização de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados se apresenta como uma solução viável para que se alcance no Brasil a universalização do saneamento e futuramente a busca pela proteção à qualidade das águas em relação à contaminação por produtos químicos de uso diário pela população. A redução de fármacos ainda necessita ser estudada em mais sistemas do tipo wetlands construídos, devido à pequena quantidade de pesquisas publicadas em periódicos e ao potencial de aplicação dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projetos, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993, 15 p.
2. ÁVILA, C. M. Effect of design and operational factors on the removal efficiency of emerging organic contaminants in constructed wetlands for wastewater treatment. 2013. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Politécnica da Catalúnia – BarcelonaTech, Barcelona, 2013.
3. ÁVILA, C. M.; NIVALA, J.; OLSSON L.; KASSA K.; HEADLEY T.; MUELLER R. A.; BAYONA J. M.; GARCÍA J. Emerging organic contaminants in vertical subsurface flow constructed wetlands: influence of media size, loading frequency and use of active aeration. *Sci Total Environ.*, 494-495:211-7, 2014.
4. DAUGHTON, C. G. Contaminants of Emerging Concern in the Environment: Ecological and Human Health Considerations; Halden, R., ed. American Chemical Society: Washington, 2010, cap. 2.
5. DECEZARO, S. T. Nitrificação e remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos de efluente doméstico em wetland construído de fluxo vertical. 2016. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
6. DECEZARO, S. T. Sistema de tanque séptico e wetland construído vertical com recirculação para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de esgoto doméstico. 2018. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.
7. DOLAR, D., GROS, M., RODRIGUEZ-MOZAZ, S., MORENO, J., COMAS, J., RODRIGUEZ-RODA, I., BARCELÓ, D. Removal of emerging contaminants from municipal wastewater with an integrated membrane system, mbr-ro. *Journal of Hazardous Materials*, v. 239-240, 64-69, 2012.
8. DORDIO, A., CARVALHO, A. J. P. Constructed wetlands with light expanded clay aggregates for agricultural wastewater treatment. *Sci. Total Environ.*, v. 463-464, 454-461, 2013.

9. DORDIO, A.; CARVALHO, A. J. P.; TEIXEIRA, D. M.; DIAS, C. B.; PINTO, A. P. Removal of pharmaceuticals in microcosm constructed wetlands using *Typha* spp. and LECA. *Bioresour. Technol.*, v. 101, p. 886–892, 2010.
10. HUSSAIN, S. A., PRASHER, S. O., PATEL, R. M. Removal of ionophoric antibiotics in free water surface constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v. 41, p. 13-21, 2012.
11. LI, Y.; ZHU, G.; NG, W. J.; TAN, S. K. A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: design, performance and mechanism. *Sci Total Environ.*, v. 468–469, p. 908–932, 2014.
12. MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M. Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) from Urban Wastewater in a Pilot Vertical Flow Constructed Wetland and a Sand Filter. *Environ. Sci. Technol.*, v. 41, n. 23, p. 8171–8177, 2007.
13. MATAMOROS, V.; BAYONA, J. M. Behavior of Emerging Pollutants in Constructed Wetlands. *Hdb Env Chem*, v. 5, n. 2, p. 199–217, 2008.
14. MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M. Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment systems for removal of pharmaceutical and personal care products. *Water Res.*, v. 43, p. 55–62, 2009.
15. MATAMOROS, V.; BAYONA, J. M.; MIRA PETROVIC, D.B.A.S.P.R. *Comprehensive Analytical Chemistry*. Elsevier, p. 409e433, 2013.
16. MOMPELAT, S.; LE BOT, B.; THOMAS, O. Occurrence and fate of pharmaceutical products and by-products, from resource to drinking water. *Environ. Int.*, v. 35, n. 5, 803-14, 2009.
17. QARNI, H. A.; COLLIER, P.; O'KEEFFE, J.; AKUNNA, J. Investigating the removal of some pharmaceutical compounds in hospital wastewater treatment plants operating in Saudi Arabia. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, n. 23, p. 13003–13014, 2016.
18. QIANG, Z.; DONG, H.; ZHU, B.; QU, J.; NIE, Y. A comparison of various rural wastewater treatment processes for the removal of endocrine-disrupting chemicals (edcs). *Chemosphere*, v. 92, p. 986-992, 2013.
19. SANTOS, L. H. M. L. M., GROS, M., RODRIGUEZ-MOZAZ, S., DELERUE-MATOS, C., PENA, A., BARCELÓ, D., MONTENEGRO, M. C. B. S. M. Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: Identification of ecologically relevant pharmaceuticals. *Sci. Total Environ.*, v. 461-462, p. 302-316, 2013.
20. SGROI, M., PELISSARI, C., ROCCARO, P., SEZERINO, P. H., GARCÍA, J., VAGLIASINDI, F. G. A., ÁVILA, C. Removal of organic carbon, nitrogen, emerging contaminants and fluorescing organic matter in different Constructed wetland configurations. *Chemical Engineering Journal*, v. 332, p. 619-627, 2018.
21. SPAIN, J. C.; VAN VELD, P. A. Adaptation of natural microbial communities to degradation of xenobiotic compounds: effects of concentration, exposure time, inoculum, and chemical structure. *Appl. Environ. Microbiol.*, v. 45, n. 2, p. 428-435, 1983.
22. VERLICCHI, P.; ZAMBELLO, E. How efficient are constructed wetlands in removing pharmaceuticals from untreated and treated urban wastewaters? A review. *Sci Total Environ.*, v. 470-471, p. 1281-306, 2014.
23. WHITE, J. R.; BELMONT, M. A.; METCALFE, C. D. Pharmaceutical Compounds in Wastewater: Wetland Treatment as a Potential Solution. *The Scientific World JOURNAL*, v. 6, p. 1731-1736, 2006.
24. ZHANG, X., JING, R., FENG, X., DAI, Y., TAO, R., VYMAZAL, J., CAI, N., YANG, Y. Removal of acidic pharmaceuticals by small-scale constructed wetlands using different design configurations. *Sci. Total Environ.*, v. 639, p. 640-647, 2018.