



REATOR ANAERÓBIO/BIOFILTRO ANAERÓBIO (RA/BFA) + WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL DE SUPORTE SATURADO (WCFV-SS) NO TRATAMENTO DE EFLUENTE URBANO

KROTH, G. C.¹; CONRAD, I.²; FOCHI, D. A. T.³, MESACASA, L.⁴, OLIVEIRA, F.⁵, TEIXEIRA, D.B.⁶, RODRIGUEZ, A. L.⁷, LUTTERBECK, C. A.⁸, MACHADO, Ê, L.⁹.

PALAVRAS-CHAVE: Soluções baseadas na natureza; carga eutrofizante; depleção de oxigênio dissolvido

RESUMO

O sistema integrado RA/BFA + WCFV-SS se configura como uma das propostas que integram as chamadas soluções baseadas na natureza (SBN) para o saneamento básico. Neste trabalho a unidade estudada foi monitorada durante 5 meses, considerando o primeiro semestre de 2022, tendo o wetland construído de fluxo vertical com fundo saturado (WCFV-FS) com as macrófitas *Hymenachne grumosa* (Nees) Zuloaga, *Canna indica* e *Helicônia velloziana*, volume útil de aprox. 450 L, alimentação por pulsos de 70 L durante 5 min, somando 4 pulsos ao dia em intervalos de 6h. O suporte do sistema foi com 70 cm de altura de britas 1 (30 cm) e 2 (30 cm) e 10 cm de seixos. Os fatores de carga foram no máximo de 18,66 g de $\text{DBO}_5 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e de 2,7 g de $\text{N-NH}_4^+ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. As amostras tiveram caracterização semanal dos parâmetros oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade, turbidez, N-NH_4^+ , pH, DBO_5 e Cor aparente em 420 nm. As reduções foram entre 50-75 % dos parâmetros eutrofizante e depressor de oxigênio dissolvido, tendo o sistema de tratamento tempo de operação de 5 anos.

ANAEROBIC REACTOR/ANAEROBIC BIOFILTER (AR/ABF) SYSTEM + CONSTRUCTED WETLAND VERTICAL FLOW WITH SATURATED SUPPORT (CWVF-SS) IN URBAN WASTEWATER TREATMENT

KEYWORDS: Nature-based solutions; eutrophic load; dissolved oxygen depletion

ABSTRACT

The integrated RA/BFA + WCFV-FS system is one of the proposals that integrate the so-called nature-based solutions (SBN) for basic sanitation. In this work, this system was monitored for 5 months, considering the first half of 2022, with the wetland constructed from vertical flow with saturated bottom (WCFV-FS) with the macrophytes *Hymenachne grumosa* (Nees) Zuloaga, *Canna indica* and *Helicônia velloziana*, useful volume from approx. 450 L, pulse feeding of 70 L for 5 min, adding 4 pulses a day at 6-hour intervals. The system support was 70 cm high of gravel 1 (30 cm) and 2 (30 cm) and 10 cm of pebbles. The loading factors were a maximum of 18.66 g of $\text{BOD}_5 \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and 2.7 g of $\text{N-NH}_4^+ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. The samples had weekly characterization of the parameters dissolved oxygen, total dissolved solids (TDS), conductivity, turbidity, N-NH_4^+ , pH, BOD_5 and apparent color at 420 nm. The reductions were between 50-75% of the eutrophicant and dissolved oxygen depressant parameters, with the treatment system having an operating time of 5 years.

^{1,2} Acadêmicos dos cursos de Engenharia Química e Química na Universidade de Santa Cruz do Sul.

³⁻⁶ Pós-graduandos do PPGTA na Universidade de Santa Cruz do Sul.

⁷⁻⁹ Docentes do PPGTA, Universidade Federal de Santa Cruz do Sul <enio@unisc.br>

1 INTRODUÇÃO

Wetlands construídos podem ser considerados sistemas integrados para o saneamento básico com várias configurações de processos atendendo diferentes demandas. Em um destes estudos von Sperling (2015) traz uma comparação entre três linhas simples de tratamento de esgoto envolvendo processos naturais: (a) reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) ascendente – três lagoas de maturação em série – filtro de seixos; (b) *wetland* construído com reator UASB-fluxo horizontal subsuperficial; e (c) *wetlands* construídos de fluxo vertical tratando esgoto bruto (primeira etapa com *wetland* construído com sistema do tipo francês. A referência dos estudos indica efetividade do tratamento para reduções das cargas eutrofizantes para pequenas comunidades (populações entre 60-220 habitantes) e em regiões de clima quente.

Já os estudos de Silveira et al, 2020, trazem a aplicação de diferentes ensaios para monitorar a toxicidade de efluentes urbanos tratados e não tratados produzidos em um campus universitário. Com sistemas integrados de tratamento com processos biológicos. A pesquisa foi realizada na estação de tratamento de esgoto da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), no período de outubro de 2018 a abril de 2019. Um sistema integrado com reator anaeróbio (AR), microalgas (MA) e *wetlands* construídos (WCs) foi proposto para desintoxicação dos efluentes produzidos no campus universitário com um tempo de detenção hidráulica de 17 dias. *Daphnia magna* (ecotoxicidade) e *Allium cepa* (fitotoxicidade, citotoxicidade e genotoxicidade) foram utilizadas como ferramentas para monitorar a eficiência do sistema integrado. Os resultados obtidos mostraram que o sistema integrado (MA, + WCs) apresentou reduções de DQO e DBO₅ além de taxas de remoção de quase 98% para N-NH₄⁺, sendo muito mais eficiente que a estação de tratamento de efluentes com sistema UASB + Biofiltro Anaeróbio em escala real (capacidade de tratamento para equivalente populacional de 18.000 pessoas).

Além dos estudos de Silveira et al., 2020, os estudos de Colares et al., 2019 também trazem a aplicação de sistema descentralizado com *wetlands* construídos para regiões de clima temperado no Brasil. A pesquisa desenvolveu um sistema combinado em fluxo de batelada e em escala piloto para tratamento e reuso de efluentes urbanos. O sistema foi alimentado com efluente bruto de um campus universitário no Brasil e composto por quatro reatores anaeróbios, três *wetlands* construídos (WCs) e uma unidade de ozonização. A ozonização foi feita com taxa de aplicação de 240 mg.h⁻¹O₃. O sistema apresentou altas taxas de eficiência de remoção de DQO (78,9%), N-NH₄⁺ (91,0%), cor (96,7%) e turbidez (99,1%). Além disso, funcionou bem para desinfecção e ecotoxicidade aguda, mas o P foi removido com eficiência (75%) apenas nos primeiros 8 meses, com eficiência de remoção diminuindo após esse período.

E com um dos encaminhamentos práticos para pesquisa de base visando a seleção de melhores sistemas para saneamento básico surgem as pesquisas de del Castillo et al., 2022. Neste trabalho, reatores anaeróbicos (RAs) e *Wetlands* Construídos (WCs) ganharam popularidade como tecnologias eficientes e de baixo custo para o tratamento descentralizado de águas residuais. No entanto, quando usados individualmente, cada um apresenta algumas desvantagens. Por exemplo, baixas, ou mesmo negativas, eficiências de remoção de nutrientes foram relatadas em RAs, e falhas operacionais (por exemplo, entupimento) são frequentes em WCs. Os sistemas combinados RA + WCs foram propostos como uma solução potencial para superar as limitações de unidades individuais, onde o efluente RA é alimentado no WC para obter melhor qualidade da água e evitar falhas operacionais. Nesta revisão, o desempenho de tratamento de sistemas combinados RA + WC foi comparado com

RAs individuais, WCs individuais e unidades convencionais (lagoas de estabilização). Além disso, os processos de remoção de poluentes (para matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes) e alguns aspectos da sustentabilidade ambiental, econômica e social dos sistemas combinados foram considerados. Nestes estudos ficou evidente que os sistemas combinados RA + WCs são uma tecnologia eficaz, robusta, flexível e altamente sustentável para tratamento descentralizado de águas residuais, especialmente para países em desenvolvimento com recursos e infraestrutura limitados.

Neste sentido a pesquisa aqui apresentada tem base de planejamento quanto a combinação dos métodos de tratamento. No entanto, traz inovações com o sistema compacto RA/BFA + WCFV-S com diversidade de macrófitas. O sistema em escala piloto traz base inicial dos estudos para entendimento dos fatores de carga poluente bem como da manutenção do sistema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em conformidade com Frota, (2016, p. 16), a grande concentração populacional em centros urbanos provoca o aumento de geração de efluentes. Estes, por sua vez, se tratados fora dos padrões ambientais vigentes, se tornam altamente prejudiciais à natureza e à saúde humana.

Em 2008, dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), revelaram que dos 5.564 municípios do país, 2.495 ainda não tinham rede de esgoto. Este número e as dificuldades geográficas e econômicas sinalizam a necessidade de implementação de sistemas alternativos de tratamento de efluentes. Dentre eles, uma opção são os *Wetlands* Construídos (WCs).

Para Frota, (2016, p. 16), *Wetlands* Construídos são sistemas equivalentes a um ecossistema natural, que realizam tratamento de água residuária, transformando, de forma altamente eficaz, efluente em substâncias inofensivas. Dentre os tipos de *Wetlands* Construídos, há o WC de Fluxo Vertical (WCFV) e o WC de fluxo horizontal subsuperficial. Há WCs saturados e não saturados, do tipo francês e também os sistemas Floating (COLARES et al., 2020).

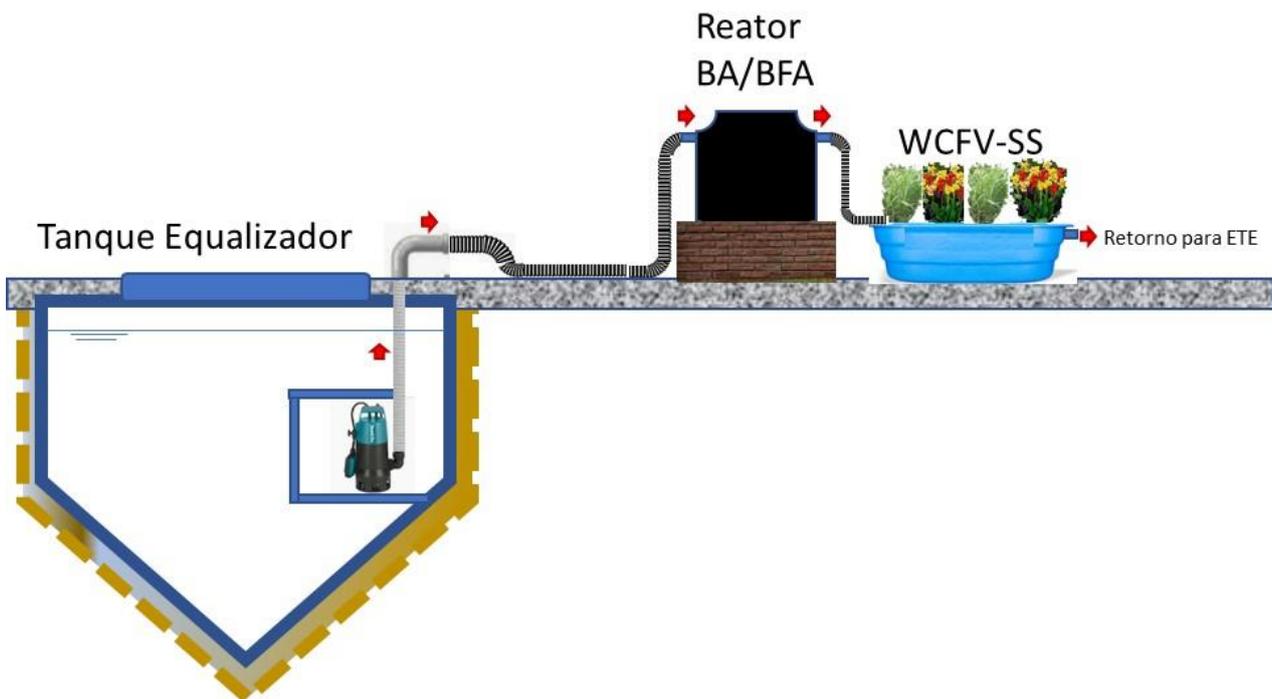
Para Iaqueli (2016), WCs trazem benefícios ambientais, econômicos e sociais, já que são sistemas de baixo custo, simples operação, independe de produtos químicos e energia elétrica. Também podem ser implementados até mesmo em diferentes locais geográficos, servem para fins industriais e residenciais, além de auxiliar na recuperação de corpos hídricos e redução de custos de tratamento de água em estações de tratamento, pois melhoram a qualidade de mananciais.

Do mesmo modo, conferem harmonia paisagística, não emitem ruídos, vibrações nem odores. Não geram lodo que precisa de posterior tratamento, apenas geram adubo proveniente da biomassa devido às macrófitas presentes. Por realizarem reações biológicas, sem necessidade de energia elétrica, possibilitam o uso em países tropicais, pois a ação dos micro-organismos é maior em altas temperaturas, potencializando a maior sustentabilidade ainda e por isto também sendo o tema desta pesquisa (IAQUELI, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

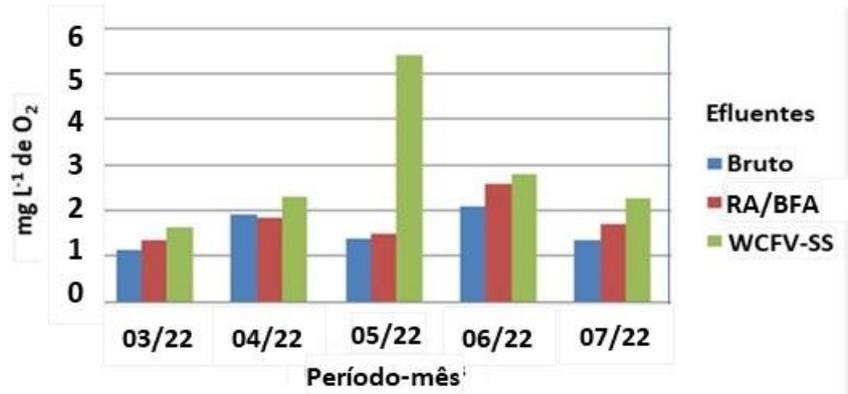
O sistema operado tem a representação na Figura 1. Com uma bomba submersa de 1 HP manteve a alimentação por pulsos de 70 L durante 5 min, somando 4 pulsos ao dia em intervalos de 6h. Os efluentes bruto e tratado foram amostrados uma vez por semana, após segundo pulso, sempre no mesmo dia da semana e horário. As amostras foram homogeneizadas, tendo caracterização semanal e imediata dos parâmetros oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez e cor aparente em 420 nm (APHA/AWWA, 2012; COLARES et al., 2020). Os parâmetros fósforo solúvel, nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) e demanda biológica de oxigênio (DBO_5) foi caracterizada mensalmente (APHA/AWWA, 2012).

Figura 1 – Sistema integrado reator anaeróbio/biofiltro anaeróbio (RA/BFA) + wetland construído de fluxo vertical de suporte saturado (WCFV-SS) no tratamento de efluente urbano (macrófitas *Hymenachne grumosa* (Nees) Zuloaga, *Canna índica* e *Helicônia velloziana*). No tanque equalizador efluente da universidade – volume útil 20 m³. RA/BFA – volume útil de 1000 L e WCFV-SS com volume útil de 450 L.

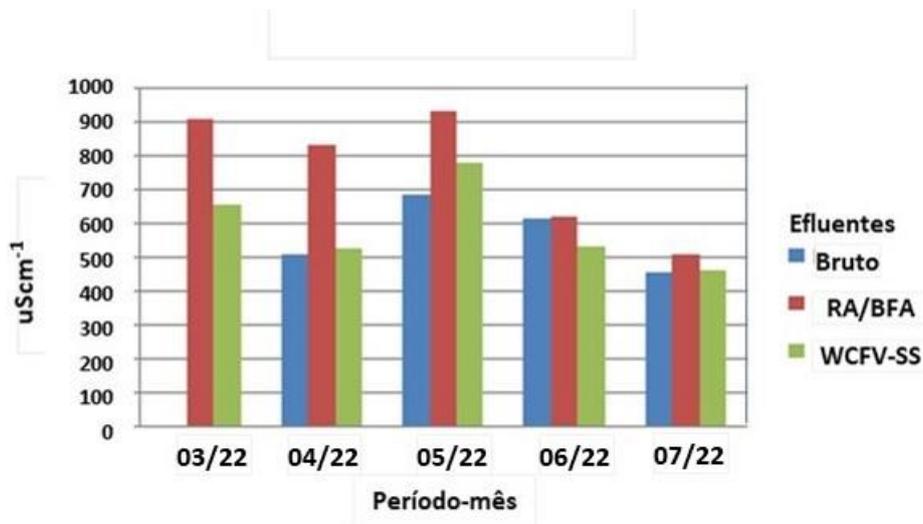


4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais resultados foram associados com parâmetros gerais, especialmente com caracterização de carga eutrofizante e de depleção de oxigênio dissolvido. Aspectos associados aos STD e turbidez também são importantes na relação de desempenho dos jardins filtrantes, ou wetlands construídos. Na Figura 2 os valores de oxigênio dissolvido (OD) são demonstradores do avanço da fase anaeróbia/anóxica para óxica, confirmando o ganho ambiental do sistema integrado.

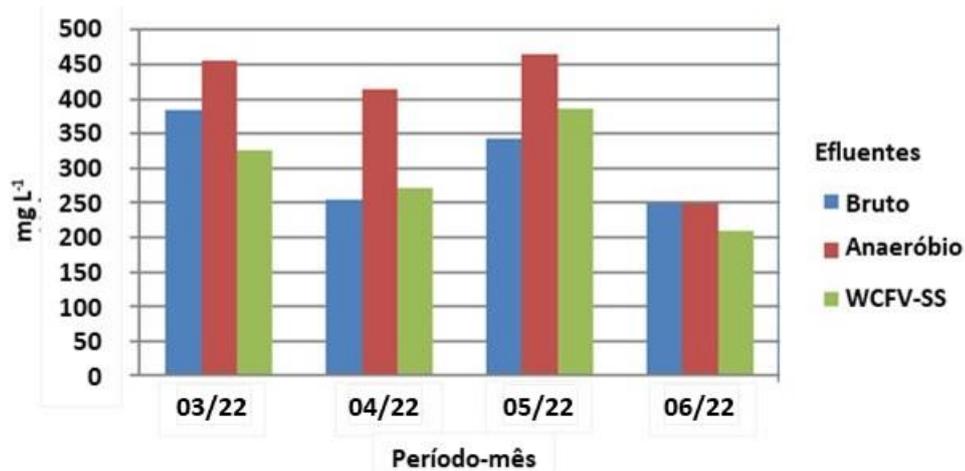
Figura 2 - Resultados de análises de Oxigênio Dissolvido do sistema Integrado RA/BFA + WCFV-SS.

Já a condutividade traz relação direta do balanço da carga de íons nos sistemas anaeróbio e de fitorremediação, demonstrando a importância dos WCs, que pode recuperar nesta carga nutrientes, bem como remover íons sódio.

Figura 3 - Resultados de análises de condutividade do sistema Integrado RA/BFA + WCFV-SS.

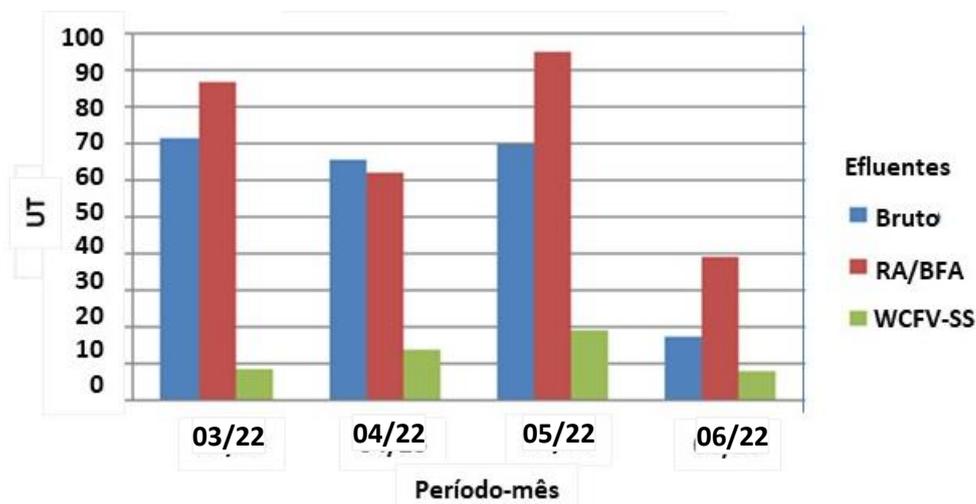
Tendência semelhante ao parâmetro de condutividade (o monitoramento conta com um período menor) no tratamento com o sistema RA/BFA + WCFV-SS foi observada para o STD, que tem a degradação anaeróbia como promotora do aumento dos valores e a troca iônica e precipitação dos íons no leito do sistema WCFV-SS os maiores responsáveis.

Figura 4 - Gráfico dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) a partir do monitoramento do sistema RA/BFA + WCFV-SS.



Considerando o material coloidal nos diferentes estágios pode ser observado o papel da unidade com leito com potencial misto de biofiltração, adsorção e biodegradação. No entanto cabe destacar que a partir de trabalhos como os de COLARES et al., 2020, foram observados aumento de turbidez dada a formação de biofilme na base do WCFV insaturado, o que não é observado no sistema WCFV-SS.

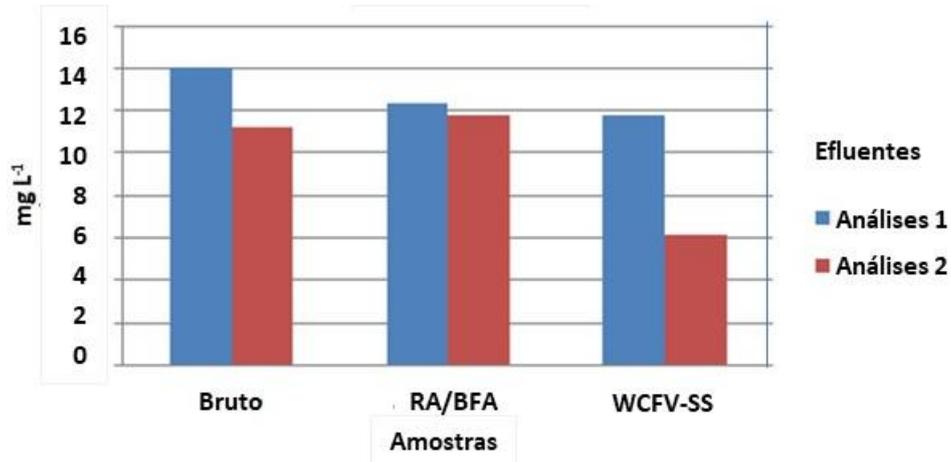
Figura 5 - Gráfico dos valores de turbidez a partir do monitoramento do sistema RA/BFA + WCFV-SS.



Quanto a carga eutrofizante, cabe destacar os menores valores de N-NH_4^+ (o equivalente de N-NH_3) em pHs menores do que 9. Os valores de N-NH_4^+ vem apresentando uma redução significativa no efluentes do campus, tanto com a redução do número de alunos como a redução de circulação de pessoas. Em alguns momentos o volume diário dos efluentes foram reduzidos de 80 para 20 $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ e as concentrações de N-NH_4^+ reduziram da faixa de 50-60 mg L^{-1} para 10-20 mg L^{-1} .

A Figura 6 apresenta a média de valores para o período 03-05/23 (análises 1) e 06-07/23 (análises 2).

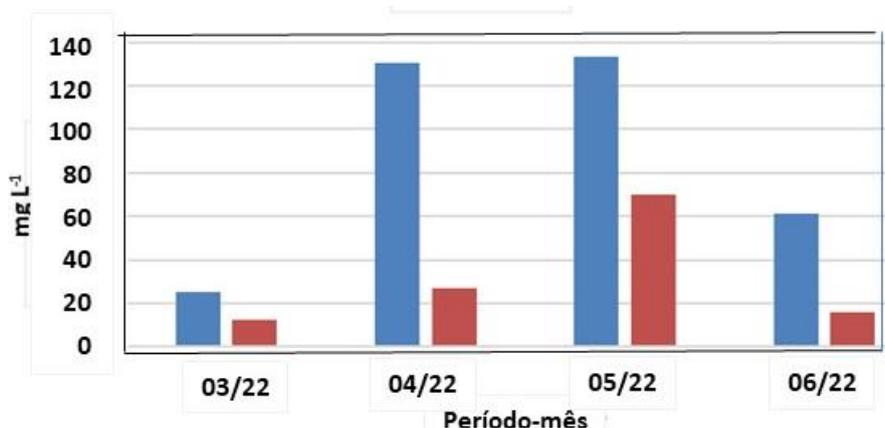
Figura 6 - Gráfico dos resultados obtidos nas análises de $N-NH_4^+$ a partir do monitoramento do sistema RA/BFA + WCFV-SS (03-07/22).



De forma semelhante a turbidez o nitrogênio amoniacal tem sua maior redução em um meio óxico, cabendo investigações da geração de nitrato e também dos valores de nitrogênio total. Já os valores de pH têm manutenção de faixas aceitáveis para descarte, entre 8,0-7,2 do bruto para o efluente WCFV-SS, sendo que em taxas reduzidas de carga de matéria orgânica esta característica seria esperada, por uma menor geração de concentrações representativas de ácidos orgânicos.

Outro aspecto de destaque são os valores de DBO_5 , tendo valores máximos aceitáveis para descarte nas referências da Consema 355/2017. O mesmo ocorreria com $N-NH_4^+$ no entanto, estas variações tendem aumentar com o retorno da normalidade nas atividades do campus quanto ao número de geradores de efluentes. Os dados de acompanhamento podem ser vistos na Figura 7.

Figura 7 - Gráfico dos resultados obtidos nas análises de DBO_5 a partir do monitoramento do sistema RA/BFA + WCFV-SS.



Os valores de DBO_5 demonstram a eficiência entre 70 e 83 %, mesmo tendo cargas próximas a 12 g m^{-1} por dia de DBO_5 , o que é referência de carga encontrada na literatura (COLARES et al., 2020).

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos a partir de análises concluiu-se que os sistemas de RA/BFA + WCFV-SS são eficientes para reduzir as cargas eutrofizantes e de depleção de oxigênio dissolvido dos efluentes urbanos do campus universitário estudados. Este sistema também pode ser pensado para o tratamento de outros efluentes urbanos com relação $DBO_5/N-NH_4^+/P$ solúvel semelhantes.

Agregar estudos futuros com a unidade de *Floating* associado com adsorção e decantação, com maior controle de drenagem de lodo sedimentado poderá tornar o sistema ainda mais eficiente, com características de tratamento de águas residuárias visando reuso

AGRADECIMENTOS

A FAPERGS, CNPq, cursos de Química, Engenharia Ambiental, Engenharia Química e PPGTA UNISC.

REFERÊNCIAS

FROTA, T. B. *Wetlands: Aplicação como tratamento complementar para efluente de estação de tratamento de esgotos condominiais*. 2016. 121 p. Trabalho de Diplomação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/148663/001002473.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 12 ago. 2022;

IAQUELI, A. L. *Wetlands construídos: aplicações, benefícios e vantagens do sistema*. 2016. 14p. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Paulo. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Artigo-sobre-wetlands.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2022;

MARTINS, D. *Mais da metade do país não tem rede de esgoto, aponta IBGE*. G1.Globo, 2011. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2011/10/mais-da-metade-do-pais-nao-tem-rede-de-esgoto-aponta-ibge.html>>. Acesso em: 13 ago. 2022.

VON SPERLING, M. Comparison of simple, small, full-scale sewage treatment systems in Brazil: UASB-maturation ponds-coarse filter; UASB-horizontal subsurface-flow wetland; vertical-flow wetland (first stage of French system). *Water Sci Technol* 1 February; 71 (3): 329-337. 2015. doi: <<https://doi.org/10.2166/wst.2014.496>>.

OLIVEIRA, S. E. et al. Biomonitoring of urban wastewaters treated by an integrated system combining microalgae and constructed wetlands, *Science of The Total Environment*, Volume 705, 2020, <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135864>>.

COLARES G. S. et al. Combined system for the treatment and reuse of urban wastewater: the efficiency of anaerobic reactors + hybrid constructed wetlands + ozonation. *Water Sci Technol* 15 July; 80 (2): 254-264. 2019. doi: <<https://doi.org/10.2166/wst.2019.270>>.

DEL CASTILLO, A. F. et al. A review of the sustainability of anaerobic reactors combined with constructed wetlands for decentralized wastewater treatment, *Journal of Cleaner Production*, Volume 371, 2022.

<<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133428>>.

RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 355 DE 13/07/2017. Publicado no DOE - RS em 19 jul 2017. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.