

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE JARDINS FLUTUANTES NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E TURBIDEZ EM ÁGUAS POLUÍDAS

Gabriele de Souza Batista ¹
Elis Gean Rocha ²
Patricia Herminio Cunha Feitosa ³

RESUMO

As atividades antrópicas e a deficiência dos serviços básicos de saneamento contribuem consideravelmente para a degradação do meio ambiente. A eutrofização, gerada pelo aumento da quantidade de fósforo e nitrogênio no meio aquático, é um dos grandes problemas das águas superficiais, gerando a necessidade de técnicas de tratamento para o corpo hídrico, que muitas vezes são de alto custo e não apresentam a eficiência necessária. Assim, o presente trabalho consistiu no desenvolvimento de jardins flutuantes para inserção em um modelo experimental com águas afluentes do pequeno açude localizado no campus Campina Grande da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) a fim de comprovar a eficiência, a partir de parâmetros normatizados, da fitorremediação na revitalização de águas poluídas. Foram montados jardins compostos por uma estrutura de rede e isopor, substratos orgânicos de fibra de coco e bagaço de cana e substratos inorgânicos de PET trituradas (jardim tipo 1) e brita (jardim tipo 2), com diferentes espécies de plantas. O monitoramento da eficiência dos jardins no tratamento de águas poluídas foi realizado a partir de análises de parâmetros físico-químicos da água - temperatura, pH, turbidez, DBO₅, DQO e clorofila-a – realizadas semanalmente. Os jardins apresentaram bom desempenho na remoção da matéria orgânica e na redução do teor de clorofila-a, com destaque para o jardim com substrato inorgânico de PET triturado, que apresentou eficiência de 45% e 79% para a remoção da matéria orgânica e redução da clorofila-a, respectivamente.

Palavras-chave: Fitorremediação, Jardins flutuantes, Águas poluídas

INTRODUÇÃO

É notório que o desenvolvimento industrial brasileiro modificou a dinâmica do país, aumentando o crescimento populacional nas zonas urbanas, e sem que as estruturas e serviços urbanos conseguissem acompanhar as novas necessidades, como é o caso da prestação de serviços e esgotamento sanitário que se mostram insuficientes até os dias atuais. Dessa maneira, atualmente, apenas 48,6% da população brasileira tem acesso à rede de esgotamento sanitário e, destes, somente 40% do esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento (TRATA BRASIL,

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, gabriele-sb@hotmail.com;

² Doutoranda no programa de pós graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, elisgean@hotmail.com

³ Professora orientadora: Graduada em Engenharia Civil, Professora Doutora do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, phcfeitosa@outlook.com

2015), cuja ineficiência influencia diretamente na qualidade das águas a jusante das cidades.

Em Campina Grande, cidade do interior do estado da Paraíba, o problema se apresenta através da vasta contribuição clandestina de esgoto nos corpos hídricos urbanos, que geram degradação do meio ambiente difíceis de serem controladas e/ou tratadas. Para evitar tais problemas ambientais, estes resíduos necessitam de técnicas de tratamento, que muitas vezes são de alto custo e não apresentam a eficiência necessária. Todavia, existem sistemas alternativos que tratam o esgoto eficientemente e com custo mais baixo, como os jardins flutuantes (QUEGE et al., 2013).

Segundo Zanella (2008), o processo de tratamento por este sistema recebeu, no Brasil, diversas denominações, porém, neste trabalho será adotado o termo jardins flutuantes (estrutura suporte + substrato + plantas) para identificação das áreas de jardins a serem inseridas sobre o espelho d'água de mananciais.

A aplicação de sistemas de jardins flutuantes na revitalização de águas poluídas faz uso de materiais que podem ser facilmente encontrados, tanto para a estrutura suporte, como para o substrato e as plantas a serem utilizadas nos modelos testados. Sua aplicação não restringe o uso das águas onde eles forem instalados, podendo ser aplicados em açudes urbanos, com plantas ornamentais que valorizem a capacidade paisagística das cidades e, em meio rural, com potencialidade para uso de cultivos agrícolas nos jardins.

A gradativa melhoria das características do meio aquático pode contribuir fortemente, a médio e longo prazos, com a ampliação da capacidade produtiva local, bem como com a garantia de abastecimento de água das cidades, tendo em vista a promoção de ambientes equilibrados no que tange a qualidade das águas.

Nesse sentido, o presente trabalho avaliará o potencial do uso de jardins flutuantes na revitalização de águas poluídas, mediante estudo de um modelo experimental com as águas afluentes do pequeno açude localizado no Campus Campina Grande da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), a partir do uso de diferentes substratos e espécies de plantas ornamentais (enraizadas no substrato, com área foliar fora d'água). Ao comprovar a eficiência desse tipo de tratamento com base em parâmetros normatizados, objetiva-se contribuir no desenvolvimento de técnicas de revitalização das águas com base na fitorremediação.

METODOLOGIA

O modelo experimental foi inserido na Universidade Federal de Campina Grande –

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

UFCEG, sendo constituído de um sistema de simulação, construído a partir de três tanques de 1000 litros, aos quais serviram de receptores dos efluentes provindos da zona á montante do canal situado por trás da biblioteca central (Figura 1).

Figura 1 - Sistema de simulação constituído por três tanques

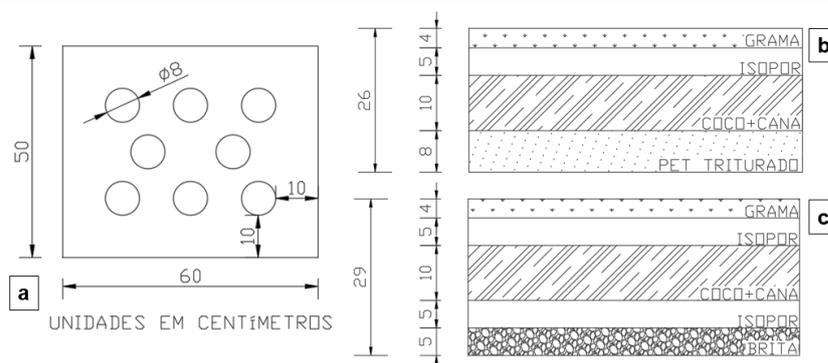


Fonte: Galisa (2016)

O tanque 2 serviu de prova em branco de modo a ilustrar o comportamento do lago, servindo como comparativo da eficiência dos jardins. Os tanques 1 e 3 receberam jardins flutuantes. Após cada coleta semanal, esvaziava-se cerca de 5 cm de água dos tanques, recarregando-o, em seguida, até o nível inicial, com o objetivo de simular a recarga e descarga presente no açude.

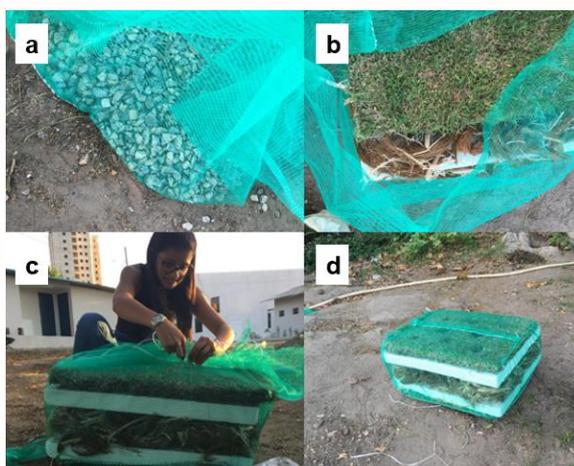
Mediante projeto prévio, a estrutura dos jardins foi montada a partir de um saco confeccionado em tela, costurado com fio de nylon, com dimensões 60x50 cm e altura de 50 cm, a partir da qual serviu de suporte para a colocação das camadas de substrato, placas de isopor (seção retangular de dimensões 60x50 cm, com 8 furos de 8 cm de diâmetro), grama e plantas, conforme vista superior na figura 2a. Montou-se dois tipos de jardins, ambos com a presença de uma camada de substrato orgânico formado por bagaço de cana-de-açúcar e fibra de coco, mas com a diferença dos substratos inorgânicos utilizados: em um usou-se o PET triturado (figura 2b) e no outro brita (figura 2c).

Figura 2 - a) Vista superior dos jardins; b) jardim tipo 1, com substrato inorgânico de PET triturado; c) jardim tipo 2, com substrato inorgânico de brita.



A partir da montagem dos jardins (figura 3) obteve-se uma porcentagem de cobertura superficial de aproximadamente 14,7%, levando em consideração os estudos de Headley e Tanner (2008), que demonstra que áreas completamente cobertas são susceptíveis a se tornarem cada vez mais anaeróbicas, o que pode ter impactos negativos na biota a jusante.

Figura 3 - Processo de montagem dos jardins: a) e b) Colocação das camadas com suas respectivas espessuras projetadas; c) Costura na parte superior com fio de nylon; d) Finalização da montagem



As plantas foram escolhidas, conforme a tabela 1, levando em consideração a possível adaptação a ambientes alagados, além da facilidade de obtenção das mesmas na região de instalação do sistema. Em ambos os tipos, colocou-se mudas de coração roxo, planta a qual possui boa resistência e eficiência, com base nas análises de Rocha (2018), a fim de verificar se possíveis más adaptações ao sistema foram devido ao sistema ou a espécie utilizada.

Quadro 1 - Plantas utilizadas nos jardins flutuantes

JARDIM TIPO 1	JARDIM TIPO 2
<i>Tradescantia pallida</i> (Coração-roxo)	<i>Tradescantia pallida</i> (Coração roxo)
<i>Asparagus densiflorus Sprengeri</i> (Alfinete)	
<i>Petunia x hybrida</i> (Petúnia)	
<i>Dianthus chinensis</i> (Cravina)	
<i>Portulaca grandiflora</i> (11 horas)	<i>Catharanthus roseus</i> (Bom-dia)
<i>Portulaca oleracea</i> (Beldroega)	
<i>Euphorbia milii</i> (Bem-casado)	

Com base em pesquisas anteriores realizadas por Alencar e Feitosa (2018), percebe-se a necessidade da lavagem dos substratos orgânicos, a fibra de coco e o bagaço da cana, antes de sua inserção no sistema de jardins flutuantes, visto que eles liberam inicialmente grande quantidade de matéria orgânica quando colocado em ambientes aquáticos. As águas resultantes da lavagem foram analisadas a partir dos parâmetros de temperatura, pH, turbidez, DBO₅ e DQO.

O monitoramento do modelo experimental foi realizado por meio de coletas de água semanais, durante cerca de 3 meses. As análises foram realizadas no laboratório de Saneamento da UFCG, a partir dos ensaios de temperatura, turbidez, pH, clorofila-a, DQO e DBO₅, seguindo as metodologias presentes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

DESENVOLVIMENTO

Sabendo que as águas superficiais passam por processos de degradação mediante o lançamento de efluentes, Thomann e Mueller (1987), conceituam o processo de eutrofização como,

O crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água.

O esgoto doméstico é constituído principalmente, com base em Benetti e Bidone (1995), por matéria orgânica biodegradável, microorganismos (bactérias, vírus, etc.), nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos e graxas, detergentes e metais. Logo, como a excessiva quantidade de minerais (fosfato e nitrato) são fontes de alimento para as algas, o esgoto doméstico é um dos principais poluentes responsáveis pelo processo de eutrofização. Neste processo, as algas

multiplicam-se e colaboram para o aumento da biomassa e redução da quantidade de oxigênio dissolvido, provocando a morte de organismos e diminuição da qualidade da água.

Frente à isso, o tratamento de efluentes vem ganhando contribuições tecnológicas importantes e sua disposição final está cada vez mais exigente e restrita à legislação como é o caso da Resolução CONAMA n. 357/2005, posteriormente complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que define os padrões de lançamento de efluentes para o corpo receptor.

Atualmente existem diversos tipos de sistemas para a recuperação e tratamento de águas residuárias e ambientes aquáticos degradados, aos quais, sob o estudo de caso realizado por Cornelli et al. (2014), podem ser: tratamento anaeróbico, wetlands, lodos ativados, biofiltração, fitorremediação, tratamento biológico, sistema de lagoas, etc.

Dentre esses tratamentos, a técnica da fitorremediação, segundo PIRES et al. (2003, apud COUTINHO e BARBOSA, 2007), consiste no emprego de plantas e sua flor microbiota associada, a fim de promover o tratamento do solo, água ou ar, removendo, imobilizando ou tornando os contaminantes, orgânicos e inorgânicos, inofensivos para o ecossistema.

As macrófitas aquáticas e plantas ornamentais têm apresentado resultados satisfatórios no combate a eutrofização e na consequente melhoria da qualidade da água (ZANELLA, 2008). Isso é confirmado a partir dos estudos de Vaillant et al (2002), no qual utilizaram sistema de hidroponia horizontal por filme nutriente com crisântemo para tratamento de esgotos, com eficiência de 95% e 91% na remoção de sólidos suspensos. Já os estudos de Varghese e Jacob (2016) demonstram que as plantas aquáticas *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* são capazes de diminuir os níveis de nitrito, sulfato, cloreto e CO₂ da água.

Os jardins flutuantes, que constituem outro tipo de sistema alternativo de tratamento de efluentes, ocorrem naturalmente nos corpos d'água e consistem em uma grossa esteira orgânica flutuante, que dá suporte ao crescimento das plantas. A parte superior é formada por um tapete flutuante de plantas e turfa decomposta. A parte abaixo do tapete é dotada de raízes entrelaçadas cobertas por biofilme, onde se desenvolvem comunidades de invertebrados e zooplâncton (NAICHIA, 2015).

Estes, são uma forma de tratamento wetland caracterizado por uma esteira de matriz sintética na superfície da água na qual macrófitas podem ser plantadas e através das quais a água passa, empregados na recuperação de rios, lagos e canais (FAULWETTER et. al, 2011).

Diferentemente dos sistemas complexos, a técnica das ilhas flutuantes apresenta mecanismo bem mais próximos ao que ocorre na natureza. Enquanto os processos mecanizados

se valem de energia elétrica e insumos industrializados, os sistemas naturais, como os jardins flutuantes, se valem da energia solar, ação dos ventos, equilíbrios gasosos entre meio líquido e aéreo, atividades bioquímicas de crescimento de biomassa, etc. (ZANELLA, 2008).

Dessa maneira, este tratamento utiliza plantas, que associam sua beleza (efeito paisagístico) com o bom desempenho na depuração do esgoto, permitindo seu uso mesmo em açudes urbanos ou em espaços de atividade turística. O ambiente a ser tratado não sofre impacto visual negativo, sendo contemplado com um efeito de otimização do design local de forma natural.

Com base nos estudos já realizados por Galisa (2016) com modelos experimentais de jardins flutuantes, estes mostraram resultados positivos com uso de substrato da fibra de coco e o coração-roxo obtendo uma eficiência de 72,4% e 76,2% de redução dos parâmetros de DBO5 e turbidez, respectivamente. Rocha (2018), por sua vez, remete à tendência de redução das concentrações dos parâmetros analisados, indicando uma tendência de melhora na qualidade da água de pequeno a médio prazo, para a aplicação dos jardins flutuantes realizada no lago da UFCG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da etapa de lavagem dos substratos, percebe-se a redução dos níveis de turbidez e DQO na água resultante da lavagem dos substratos. A redução na turbidez e na DQO foram de respectivamente 67,29% e 42,93%, durante os dias de lavagem, o que comprova a eficácia na retirada da matéria orgânica dos substratos no processo de lavagem.

Com relação a análise da estrutura dos jardins e adaptação das plantas verificou-se o bom desempenho estrutural de ambos os modelos. Além disso, a montagem mostrou-se de fácil e rápida execução, propiciando a produção em larga escala, sem a necessidade de uma mão-de-obra elevada.

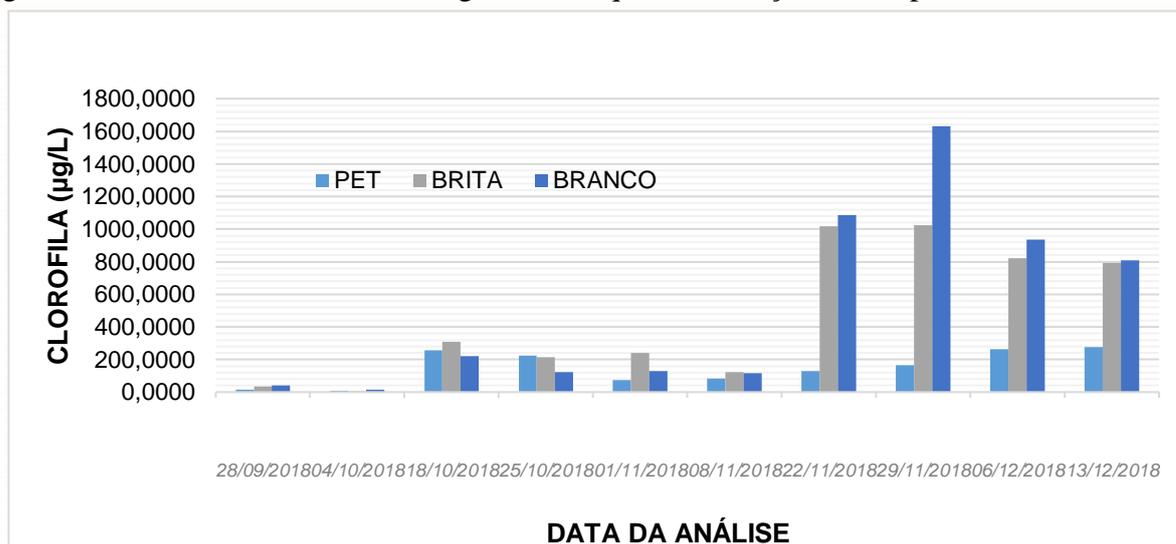
Entre as plantas inseridas nos modelos, como já previsto com base em pesquisas anteriores, o coração roxo foi a que apresentou melhor desempenho em ambos os protótipos, comprovando que os jardins apresentam meio de propiciar desenvolvimento para as plantas. Ademais, as espécies beldroega, cravina, bem-casado e a grama também obtiveram ótimo desenvolvimento. Em contrapartida, algumas espécies como a petúnia e o alfinete, morreram por ocorrência de fatores como a má fixação no substrato e falta de adaptação ao ambiente com excesso de água e rico em nutrientes.

Levando em consideração os parâmetros analisados no monitoramento do modelo, o pH no transcorrer do tempo foi reduzindo, não apenas para os tanques com os jardins, mas também para o tanque que serviu como prova em branco. Além disso, entre os valores obtidos entre os tanques, não houve mudanças significativas, o que demonstra que a própria água passa pelo processo de redução do pH de maneira natural.

Com relação à clorofila-a (figura 5), percebe-se, inicialmente, um aumento significativo do valor que se explica pela questão de que os tanques fazem com que a água fique represada, diminuindo a sua movimentação e conseqüente aeração, promovendo o conseqüente aumento de algas que promovem a colocação esverdeada à água.

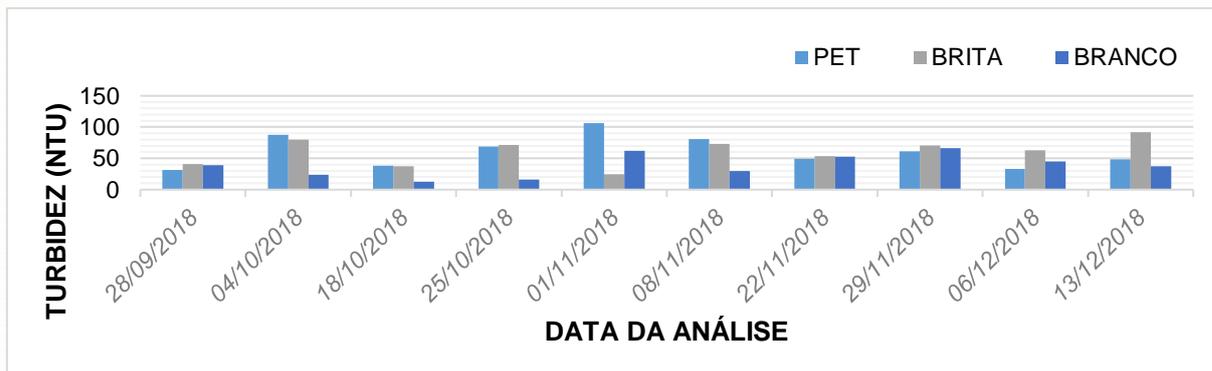
Entretanto, no dia 22/11 o teor de clorofila-a começa a decair para os tanques com os jardins, fazendo com que a eficiência na remoção da clorofila-a seja, a partir desta data, de 14% para o jardim tipo 2 e de 79% para o jardim tipo 1. Essa remoção deve-se à propriedade de adsorção de biomassa promovida pelos substratos.

Figura 4 - Gráfico de clorofila-a, da água dos tanques, em função do tempo.



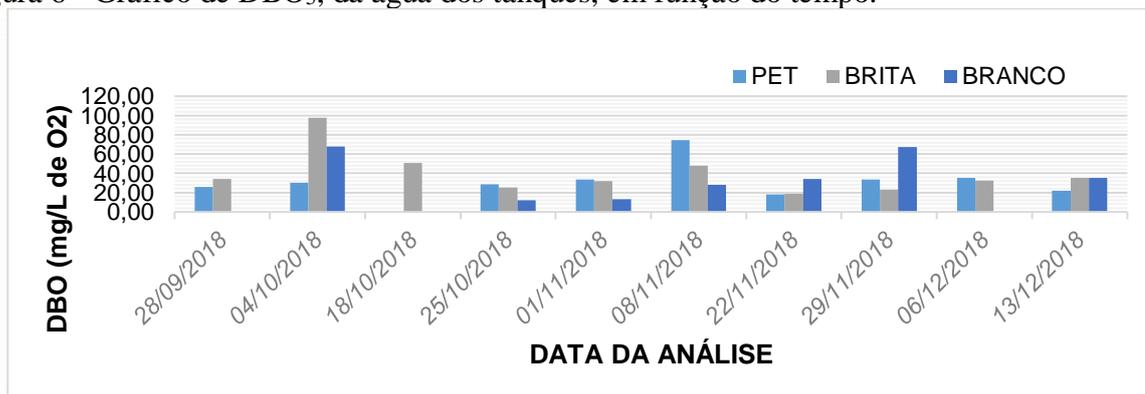
A turbidez (figura 6), nos tanques com os jardins durante quase todas as campanhas, apresentam o valor desse parâmetro mais elevado que a prova em branco, diferentemente dos resultados obtidos por Alencar e Feitosa (2017), em que a turbidez aumenta nos primeiros dias após instalação dos jardins, devido à perda de biomassa dos substratos para a água. Porém, esse crescimento pode ser explicado pela liberação de partícula dos substratos orgânicos e pelo pouco tempo de monitoramento do sistema.

Figura 5 - Gráfico de turbidez, da água dos tanques, em função do tempo.



A DBO₅ (figura 7), tem seu valor elevado nas primeiras semanas para os tanques com os jardins e valores menores para o tanque da prova em branco. Essa situação se altera após o dia 22/11, no qual verifica-se uma queda da DBO nos tanques 1 e 3, a partir da atuação dos substratos orgânicos no meio, com o melhoramento gradativo na qualidade da água, principalmente pela adsorção de partículas, paralelamente com o aumento gradativo da DBO no tanque 2. A eficiência dos jardins na remoção da matéria orgânica a partir dessa data é de 45% para o tanque 1 de 37% para o tanque 3.

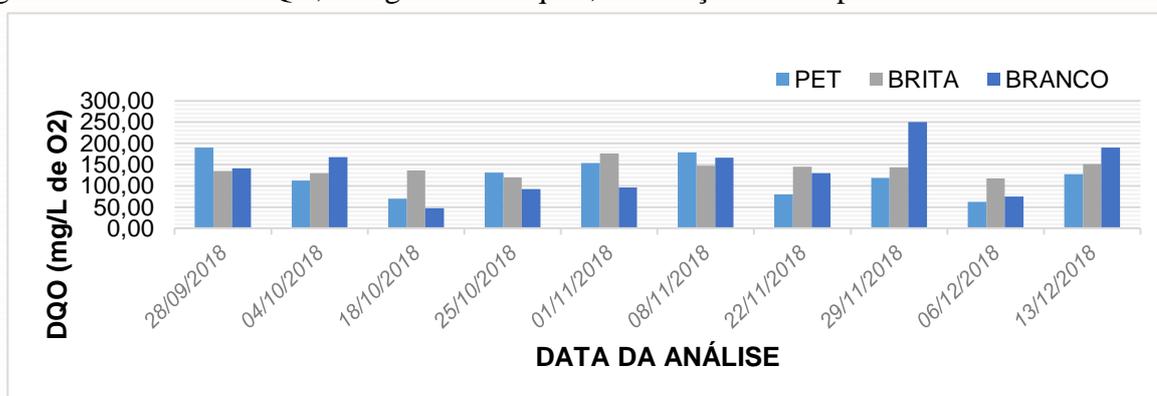
Figura 6 - Gráfico de DBO₅, da água dos tanques, em função do tempo.



Com relação ao parâmetro da DQO (figura 8), analogamente à DBO₅, é perceptível uma melhora na qualidade da água dos tanques com os jardins a partir do dia 22/11. Assim, a partir dessa data tem-se uma eficiência do jardim com substrato inorgânico de PET na remoção da matéria orgânica biodegradável e não-biodegradável de 35% e uma ineficiência do jardim com substrato inorgânico de brita de -2%.

Nota-se algumas variações dos valores da DQO ao longo do tempo, que são resultado do lançamento de esgotos clandestinos domésticos e industriais, lançados indevidamente com cargas intermitentes, no sistema de drenagem de águas a céu aberto.

Figura 7 - Gráfico de DQO, da água dos tanques, em função do tempo.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que a lavagem reduz significativamente a quantidade matéria orgânica e a turbidez presente nos substratos, o que evita a excessiva liberação da matéria orgânica e o aumento dos níveis de turbidez da água quando o jardim é inserido no tanque.

Além disso, o modelo estrutural projetado para os jardins obteve sucesso na questão da estabilidade e propiciação ao desenvolvimento das espécies de plantas utilizadas, tendo sucesso para a beldroega, o coração roxo, o bem-casado e a cravina.

Com relação aos parâmetros analisados, percebe-se uma considerável redução da DBO₅ com eficiências 45% para o jardim tipo 1 e 37% para o jardim tipo 2 e clorofila- a com eficiência de 79% para o jardim tipo 1 e 14% para o jardim tipo 2. A turbidez manteve-se quase todas as vezes maior nos tanques com os jardins do que na prova em branco, o que se explica pela liberação de partícula dos substratos orgânicos. E a DQO obteve crescimentos pontuais, o que pode ser atribuído ao lançamento de esgotos ilegais, contendo matéria orgânica não-biodegradável.

De modo geral, nota-se melhores resultados obtidos para o jardim com o substrato inorgânico de PET triturado (tanque 1). Entretanto, um possível prolongamento da coleta de dados no sistema poderia apresentar melhores resultados para ambos os jardins, tendo em vista

a tendência de queda dos parâmetros.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, S. L. F. de; FEITOSA, P. H. C. **Uso de jardins flutuantes como ferramenta de gestão em açudes urbanos e embelezamento das cidades – Estudo do “Laguinho” do campus Campina Grande da UFCG.** In: XIV Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater.** 21 ed. Springfield: Byrd Prepress, 2005.

BENETTI, A.; BIDONE, F. **O meio ambiente e os recursos hídricos.** IN: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação Porto Alegre: UFRGS, 1995.

CORNELLI, R. et al. **Métodos de tratamento de esgotos domésticos: uma revisão sistemática.** Revista de Estudos Ambientais (Online), v. 16, n. 2, p. 20-36, jul./dez., 2014.

FAULWETTER, J. L. **Floating treatment wetlands for domestic wastewater treatment.** Water Science & Technology, v. 64, n.10, 2011, p. 208-2095.

GALISA, D. R. R. **Utilização de jardins flutuantes no tratamento de águas superficiais urbanas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

HEADLEY, T. R.; TANNER, C. C. **Floating treatment wetlands for the removal of fine particulates, copper and zinc from stormwater.** In: Preprints of 11^a International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Indore, India, 2008, pp. 655–659.

NAICHIA, Y. **Artificial floating islands for environmental improvement.** Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews. Taiwan: Elsevier, 2015.

PIRES, F. R., et al. **Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas.** Planta Daninha: 2003. IN: COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização. Silva Lusitana 15(1): 103 - 117, 2007.

QUEGE, E. Q.; ALMEIDA, R. A.; UCKER, F.E. **Utilização de Plantas de Bambu no Tratamento De Esgoto Sanitário pelo Sistema de Alagados Construídos.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170) v(10), nº 10, p. 2069-2080, jan./abr., 2013.

THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of Surface Water Quality Modeling and Control.** Harper Collins Publishers, 1987.

TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento - Instituto Trata Brasil.** São Paulo: GO associados, 2015.

VAILLANT, N., et al. **Urban wastewater treatment by a nutrient film technique system with a valuable commercial plant species (*Chrysanthemum cinerariaefolium* Trev.).** Environmental Science Technology, n. 36, p. 2101 – 2106, 2002.

VARGHESE, A. R.; JACOB, L. **Phytoremediation of waterbodies using selected aquatic macrophytes *eichhornia crassipes* (mart.) solms and *pistia stratiotes*, L.** Asian Journal of Science and Technology. India, v. 07, n. 4, p. 2774-2776, abr. 2016.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte.** 2008. (Doutorado em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.