

## AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DE FILTRO ORGÂNICO<sup>1</sup>

## AVALUACIÓN HIDRÁULICA DE FILTRO ORGÁNICO

VINÍCIUS DE BARROS SOUZA

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás, Campus  
Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas  
viniciuswg@hotmail.com

FLÁVIA MARTINS DE QUEIROZ

Engenheira Agrícola, Professora da Universidade Estadual de Goiás, Campus  
Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas  
flmqueiroz@gmail.com

**Resumo:** Diante da ausência de rede coletora de esgoto em muitos municípios, o estudo voltado para alternativas de tratamentos de águas residuárias de baixo custo e com material suporte acessível tem se tornado de extremo interesse para pequenas localidades. Nesse sentido, o bambu apresenta destaque em potencial por ser facilmente encontrado em território brasileiro. Com o objetivo de avaliar as características hidráulicas e a eficiência filtrante do bambu em relação à brita #0, foram construídos dois filtros orgânicos com meio suporte constituído de anéis de bambu, das espécies *Bambusa Multiplex* e *Bambusa Textilis Gracilis*, e um filtro preenchido com brita #0 para tratamento de esgoto proveniente de sobrenadante de tanque séptico. Os filtros foram colocados em atividade no mês de julho por períodos de oito horas diárias durante quatro dias e os efluentes foram submetidos a análises laboratoriais de pH, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais (ST) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Os resultados demonstraram que a remoção de Sólidos Totais foi baixa em todos os filtros avaliados, sendo a maior remoção de 4,49% para o leito com brita #0. No entanto, em relação aos demais parâmetros, os filtros com leito de bambu apresentaram maior eficiência em relação à brita #0, com destaque para a remoção de matéria orgânica, em termos de COT, de 64,50% no filtro com leito de *T. Gracilis* e de 84,69% em relação à DQO para o efluente do filtro com leito de *B. Multiplex*, além da remoção de 30,13% de turbidez nesse último leito.

**Palavras-chave:** bambu. esgoto. filtro orgânico. tratamento.

**Resumen:** Debido a la ausencia de una red de alcantarillado en muchos municipios, el estudio con vista para alternativas de tratamiento de aguas residuales de bajo costo y con material soporte accesible se ha hecho de extremo interés para pequeñas localidades. En ese sentido, el bambú presenta destaque en potencial por ser facilmente encontrado en territorio brasileño. Con el objetivo de evaluar las características hidráulicas y la eficiencia filtrante del bambú en relación a la grava #0, fueron construidos dos filtros orgánicos con medio soporte constituído de anillos de bambú, de las especies *Bambusa Multiplex* y *Bambusa Textilis Gracilis*, y un filtro llenado con grava #0 para tratamiento de las aguas residuales provenientes del sobrenadante del tanque séptico. Los filtros fueron colocados en actividad en el mes de julio por periodos de ocho horas diarias durante cuatro días y los efluentes fueron sometidos a análisis laboratoriales de pH, turbidez, Carbono Orgánico Total (COT), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales (ST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Los resultados demostraron que la remoción de Sólidos Totales fue baja en todos los filtros evaluados, siendo la mayor remoción de 4,49% para el lecho con grava #0. Sin embargo, en relación a los demás parámetros, los filtros con lecho de bambú presentaron mayor eficiencia en relación a la grava #0, con destaque para la remoción de materia orgánica, en términos de COT, de 64,50% en el filtro con lecho de *T. Gracilis* y de 84,69% en relación a la DQO para el efluente del filtro con lecho de *B. Multiplex*, además de la remoción de 30,13% de turbidez en ese último lecho.

**Palabras clave:** bambú. alcantarillado. filtro orgánico. tratamiento.

<sup>1</sup> Financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

## INTRODUÇÃO

O diagnóstico do saneamento no Brasil indica que 50,3% da população têm acesso à coleta dos esgotos (SNIS, 2015), o que significa que a outra parcela, mais de 100 milhões de brasileiros, adota medidas alternativas, seja através de fossas ou lançamento *in natura* nos rios. O Instituto Trata Brasil (2015) aponta que do total coletado, somente 42,67% dos esgotos são tratados.

De acordo com o IBGE (2008), os baixos níveis de atendimento à população brasileira com serviços de saneamento básico se devem principalmente a problemas de ordem política e econômica, e não exatamente empecilho tecnológico. Segundo Zanella (2008), o Brasil é um dos países de grande destaque mundial em pesquisas e implementação de tecnologias anaeróbias para o tratamento de esgotos sanitários, porém, o tratamento de efluentes por processos anaeróbios necessita de tratamento complementar, ou sistemas de pós-tratamento, que possibilitem a adequação do efluente aos parâmetros legais exigidos para o despejo. Além disso, um dos empecilhos para a adoção dos filtros anaeróbios em escala real refere-se ao custo do material de enchimento que pode ter a mesma ordem de grandeza que o valor da própria construção do reator (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Os *wetlands* construídos despontam como uma alternativa potencialmente viável nesse quesito devido, principalmente, aos baixos custos de operação envolvidos e ao apelo ecológico que possuem (ZANELLA, 2008). Esses sistemas são considerados filtros biológicos por possuírem meio filtrante constituído de material orgânico ou inorgânico, dentro dos quais, microrganismos, capazes de promover reações de depuração da água se alojam. Esses microrganismos, com sua diversidade genética e adaptabilidade funcional, são capazes de degradar substâncias diversas presentes na água, promovendo, assim, seu crescimento (DIAS POÇAS, 2015).

Com o intuito de minimizar os custos de tratamentos convencionais de esgoto e diminuir o impacto das atividades humanas sobre os recursos naturais, vários autores, tais como Zanella (2008), Lo Monaco et. al. (2002), Costa Couto (1993), Queiroz (2004), entre outros, têm utilizado filtros orgânicos como alternativa para o tratamento de águas residuárias. Zanella (2008) ressalta que a utilização de anéis de bambu como meio suporte nos *wetlands* construídos pode facilitar, ainda mais, a sua utilização em áreas rurais, já que o bambu é facilmente encontrado em todo o território nacional. Para Tonetti et. al. (2011), em

localidades onde o bambu é amplamente disponível, o uso do seu caule cortado em pequenos pedaços como material de recheio pode ser viabilizado.

Diante do potencial que o bambu apresenta, este trabalho busca avaliar as características hidráulicas dos filtros orgânicos com leito constituído de anéis de bambu da espécie *Bambusa Multiplex* e *Bambusa Textilis Gracilis*, a eficiência na remoção de sólidos totais e matéria orgânica em termos de Carbono Orgânico Total (COT) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), e o potencial do bambu como meio filtrante de efluente de tanque séptico, tendo-se por referencial de comparação o leito com brita #0.

## **METODOLOGIA**

O estudo foi realizado no Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET) da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis-GO (latitude 16°19'36'' S e longitude 48°57'10'' W).

### **Ensaio de caracterização, índices físicos e permeabilidade dos materiais filtrantes**

90

Para caracterização da brita foi realizado ensaio de granulometria de acordo com a metodologia da norma ABNT NM 248/2003 e as definições da ABNT NBR 7211/2009. Devido às características do material, esse ensaio não foi realizado com os anéis de bambu. Por isso, determinou-se o índice de forma dos anéis e da brita #0 de acordo com a formulação apresentada pela ABNT NBR 7809/2008, com adaptações.

Foram determinados os índices físicos do bambu e da brita tais como, peso específico dos grãos, índice de vazios e porosidade, utilizando-se recipientes de volumes conhecidos, preenchidos com os respectivos materiais, de modo a alcançar o menor volume de vazios. Em seguida foram completados com água para se determinar o volume de água ocupado nos vazios. A água foi drenada e feita a pesagem e aferição da temperatura.

O material granular contido nos recipientes foi pesado e seco em estufa de convecção forçada à 105 °C durante 3 horas. Após esses procedimentos, pôde-se quantificar o volume de água absorvido pelos anéis e pela brita e determinar o volume de vazios, o volume e a massa dos anéis e da brita, e o volume total dos recipientes. Conhecido essas grandezas, os índices físicos foram determinados pelas formulações correntes na literatura.

O ensaio de permeabilidade à carga constante da brita foi realizado em permeâmetro convencional de 15 cm de diâmetro e 28 cm de comprimento, de acordo com a metodologia da ABNT NBR 13292/1995.

O mesmo ensaio foi realizado com bambu, sendo os anéis previamente imersos em água por 72 horas para absorção de água. Para tal, construiu-se um permeâmetro compatível com as dimensões dos anéis de bambu, conforme ABNT NBR 13292/1995, em PVC de 200 mm de diâmetro e 0,95 m de comprimento, no qual foram inseridos quatro piezômetros ao longo da coluna para a leitura de diferentes cargas hidráulicas (0,45 m, 0,51 m, 0,61 m, 0,65 m e 0,70 m).

Cada bambu foi ensaiado separadamente, sendo adicionada uma camada de seixo rolado sobre o material, de granulometria superior aos anéis de bambu. A constante de permeabilidade foi determinada pelo coeficiente angular da reta que melhor se ajustou aos pontos correspondentes ao regime laminar, conforme proposto pela ABNT NBR 13292/1995.

### **O experimento com os filtros**

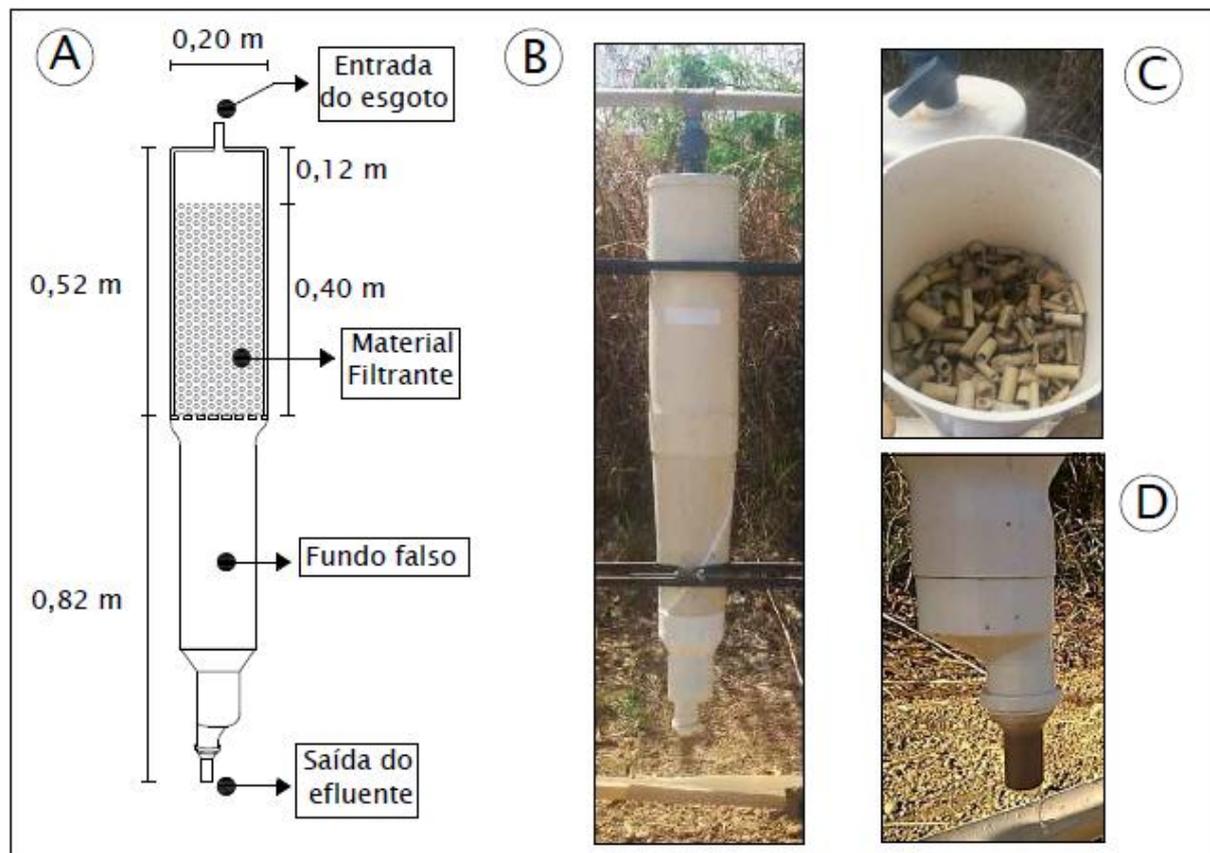
91

O experimento constitui-se de um módulo com três filtros cilíndricos de PVC (Figura 1), de fluxo vertical descendente, com altura de 1,34 m, 200 mm de diâmetro e capacidade volumétrica de 0,0163 m<sup>3</sup>. As distâncias entre o centro de cada filtro e entre a saída dos filtros e o solo eram de 0,50 m e 0,22 m, respectivamente.

O esgoto utilizado, proveniente do sobrenadante de tanque séptico do prédio principal de aulas da CCET em Anápolis-Go, foi aplicado nos filtros por gravidade. Para isso, um reservatório primário, com capacidade de 5 m<sup>3</sup>, posicionado a 0,58 m acima da entrada dos filtros era abastecido e interligado em série a um reservatório secundário de 0,250 m<sup>3</sup>. Neste último, instalou-se boia de nível a 0,32 m acima da base e a partir dele o esgoto foi distribuído aos filtros, à montante dos quais instalou-se registro de esfera para controle da vazão. Após passar pelo material filtrante, o efluente era descartado.

Os filtros foram preenchidos com camada de 0,40 m de material filtrante. Dois deles receberam os anéis de bambu das espécies *Bambusa Multiplex* e *Bambusa Textilis Gracilis*, e o terceiro, brita #0. Esses materiais foram colocados sobre uma peneira de PVC encaixada na parede do filtro. Os materiais orgânicos foram compactados manualmente de modo a atingir um volume mínimo de vazios, sendo sobrepostos pela mesma camada de seixo rolado utilizado no ensaio de permeabilidade, a fim de se evitar o fluxo preferencial de esgoto e

impedir a flutuação dos anéis de bambu no interior do leito. No filtro com brita #0 esses procedimentos não foram adotados. A Figura 1 apresenta o esquema (A) e a foto de um desses filtros (B) com detalhes (C) e (D).



**Figura 1.** Esquema do filtro em corte (A), vista externa (B), vista interna do reator com anéis de bambu (C) e detalhe da saída inferior (D). **Fonte:** Autores, 2017.

Os bambus da espécie *Bambusa Multiplex* e *Bambusa Textilis Gracilis* são nativos da Ásia e encontrados em algumas partes da América do Sul, incluindo o Brasil.

A espécie *B. Multiplex* foi coletada numa área restrita da Universidade Federal de Goiás (UFG), em Goiânia, destinada ao cultivo de bambu e outras culturas. A espécie *T. Gracilis*, conhecida como Bambu Jardim, foi coletada no município de Caldas Novas, em Goiás. As hastes colhidas tiveram as extremidades descartadas e o corte em anéis foi realizado por meio de serra policorte.

Os registros dos filtros foram abertos manualmente em posições tais que promovessem maior vazão quanto maior a permeabilidade do meio suporte. Vale ressaltar que não houve controle da vazão para manutenção do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) constante.

A aplicação de esgoto foi intermitente e iniciou-se em 05 de julho de 2017, com 8 horas diárias de aplicação durante quatro dias de experimento (05/jul, 06/jul, 07/jul, 10/jul).

### **Coleta das amostras e análises laboratoriais**

Do esgoto afluente era retirada uma amostra por dia, diretamente do reservatório secundário. Já o esgoto efluente era amostrado três vezes ao dia (9h00min, 11h00min e 15h00min) e determinada sua vazão.

A coleta de amostras era feita diretamente na saída dos filtros e encaminhadas ao laboratório para determinação da turbidez, pH, Carbono Orgânico Total (COT), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Condutividade Elétrica (CE) e Temperatura.

A avaliação da eficiência na remoção dos tratamentos foi feita a partir da aplicação dos resultados à equação proposta por Almeida (2005):

$$E(\%) = \frac{C_e - C_s}{C_e} \times 100 \quad (1)$$

em que:

- 93
- E(%) - eficiência percentual;
  - C<sub>e</sub> - concentração de entrada, e
  - C<sub>s</sub> - concentração de saída.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O ensaio de granulometria da brita permitiu classificá-la como brita #0. Quanto aos índices de forma, foi obtido o valor de 4,5 para a espécie *T. Gracilis*, 2,8 para a espécie *B. Multiplex* e 2,3 para a brita #0. Esse índice indica a qualidade de um material em relação a sua forma, considerando que os grãos que apresentam dimensões uniformes (forma cúbica) terão índice próximo de 1. Sendo assim, os grãos da brita são mais regulares que os anéis de bambu.

Estão apresentados na Tabela 1 os valores referentes aos índices físicos e à permeabilidade à carga constante dos materiais avaliados.

**Tabela 1.** Propriedades dos anéis de *B. Multiplex*, *T. Gracilis* e brita #0

Propriedade	<i>B. Multiplex</i>	<i>T. Gracilis</i>	Brita #0
Índice de vazios	1,446 ± 0,067	2,422 ± 0,015	0,855 ± 0,055
Porosidade (%)	58,86 ± 1,021	71,07 ± 0,326	45,97 ± 1,731
Peso específico dos grãos (KN.m <sup>-3</sup> )	10,96 ± 0,159	10,62 ± 0,284	26,39 ± 0,095
Permeabilidade K <sub>20</sub> °C (m.s <sup>-1</sup> )	1,72x10 <sup>-3</sup>	1,96x10 <sup>-3</sup>	1,07x10 <sup>-3</sup>

Fonte: Autores, 2017.

Do ponto de vista técnico, o filtro com leito de anéis de *T. Gracilis* apresenta vantagens significativas, uma vez que este material apresenta o maior índice de vazios e porosidade em relação aos demais (Tabela 1). Essas propriedades favorecem a circulação do esgoto e do ar no leito filtrante, propiciando a formação de cultura biológica, além de reduzir as chances de colmatção. Quanto maior o índice de vazios proporcionado pelo material, maior o volume efetivo conseguido no sistema (ZANELLA, 2008).

As vazões nos filtros diminuíram ao longo dos dias de atividade devido o processo de colmatção, contribuindo para o aumento do TDH, como apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Vazão diária nos filtros e TDH (média).

Tratamento	Dia de atividade							
	1°		2°		3°		4°	
	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	TDH (h)						
<i>B. Multiplex</i>	2,14E-05	0,096	9,70E-06	0,212	6,86E-06	0,300	5,23E-06	0,393
<i>T. Gracilis</i>	3,90E-05	0,064	1,86E-05	0,133	9,22E-06	0,269	1,01E-05	0,246
Brita #0	1,04E-05	0,154	4,81E-06	0,334	1,34E-06	1,198	5,00E-07	3,209

Fonte: Autores, 2017.

Além do processo natural de colmatção, a diminuição da vazão está relacionada à permeabilidade do meio suporte. Como o filtro com leito de *T. Gracilis* é mais permeável que os demais, a vazão nesse filtro sofreu a menor redução. Observa-se na Tabela 2 que o filtro com brita #0 tornou-se quase inoperável com a reduzida vazão efluente e o elevado TDH apresentado no 4° dia de atividade. Isso indica que, durante um período maior de atividade, o filtro não estaria apto para desenvolver sua função satisfatoriamente, o que sugere a utilização de um critério de aplicação que leve em consideração a manutenção do TDH constante.

O resultado para as análises de Temperatura (T), pH, Condutividade Elétrica (CE), Turbidez, Sólidos Totais (ST) e Carbono Orgânico Total (COT) são apresentados na Tabela 3.

Ressalta-se que os valores são as médias das amostras colhidas nos três horários estabelecidos, exceto para o esgoto afluente, que foi amostrado uma vez ao dia.

**Tabela 3.** Resultados médios de análises laboratoriais do 1º ao 4º dia de atividade

Dia	Tratamento	T* (°C)	pH	CE (µS/cm)	Turbidez (NTU)	ST (mg/L)	COT (ppm)
1º	Esgoto afluente	19,40	7,30	1551,00	148,00	1070,00	5,03
	Brita #0	20,65	7,56	1508,50 ± 92,63	114,50 ± 4,95	1062,00 ± 5,65	3,93 ± 0,34
	<i>T. Gracilis</i>	20,95	7,42	1504,00 ± 67,88	112,15 ± 46,45	1063,00 ± 7,07	3,81 ± 0,52
	<i>B. Multiplex</i>	21,10	7,58	1507,50 ± 68,59	103,40 ± 48,93	1058,00 ± 9,89	4,43 ± 0,45
2º	Esgoto afluente	17,60	7,41	1498,00	99,70	1060,00	6,52
	Brita #0	22,30	7,55	1438,00 ± 26,15	88,60 ± 18,71	1058,67 ± 9,29	3,41 ± 0,61
	<i>T. Gracilis</i>	21,30	7,57	1439,33 ± 56,58	104,53 ± 10,91	1038,00 ± 36,59	3,23 ± 1,64
	<i>B. Multiplex</i>	20,97	7,58	1433,00 ± 56,50	73,80 ± 6,12	1039,00 ± 17,0	4,34 ± 1,32
3º	Esgoto afluente	20,50	7,50	1448,00	88,10	1065,00	6,54
	Brita #0	20,53	7,59	1421,67 ± 7,63	82,33 ± 15,55	1064,33 ± 6,11	3,56 ± 0,47
	<i>T. Gracilis</i>	24,83	7,63	1325,67 ± 117,3	97,60 ± 4,09	1064,67 ± 3,05	2,32 ± 0,64
	<i>B. Multiplex</i>	24,87	7,72	1323,33 ± 103,2	84,73 ± 10,18	1059,67 ± 12,58	2,74 ± 1,50
4º	Esgoto afluente	20,40	7,72	1442,00	99,10	1054,00	6,63
	Brita #0	22,90	7,60	1500,67 ± 6,43	95,73 ± 9,60	1006,67 ± 14,15	4,93 ± 0,13
	<i>T. Gracilis</i>	22,20	7,90	1415,00 ± 31,0	92,37 ± 11,18	1058,00 ± 16,09	3,12 ± 0,78
	<i>B. Multiplex</i>	22,07	7,93	1420,67 ± 37,0	93,83 ± 13,25	1044,33 ± 28,74	4,15 ± 0,21

\*T= temperatura; CE= condutividade elétrica à 25°C; ST= sólidos totais; COT= carbono orgânico total.  
**Fonte:** Autores, 2017.

De modo geral, houve aumento do pH para todas as amostras analisadas, sendo o maior aumento verificado para o filtro com *T. Gracilis*, com uma variação de +0,48. Apesar do aumento, todas as amostras estão dentro do padrão estabelecido pela Resolução nº 430 do CONAMA (2011) para lançamento de efluentes em corpo d'água receptor (entre 5,0 e 9,0). Verifica-se também, com exceção do filtro com brita no 4º dia, que houve tendência dos efluentes dos filtros apresentarem pH ligeiramente mais elevado que o esgoto afluente.

Os filtros com meio suporte de bambu apresentaram uma tendência de redução de CE mais favoráveis que a brita, com eficiência de 8,61% (*B. Multiplex*) e 8,45% (*T. Gracilis*) contra 3,90% da brita #0.

Em relação aos sólidos totais, o filtro com brita #0 apresentou a maior remoção (4,49%), seguido do filtro com *B. Multiplex* (2,35%) e *T. Gracilis* (2,07%). De modo geral, a remoção de ST foi baixa, se comparado aos resultados obtidos por Queiroz et. al. (2004), que obtiveram redução média de 53,01% de ST ao estudar filtro anaeróbio com meio suporte de bambu como pós-tratamento de reator anaeróbio. Lo Monaco et. al. (2002) obtiveram remoções de sólidos totais de até 65% quando se utilizou meio filtrante constituído por

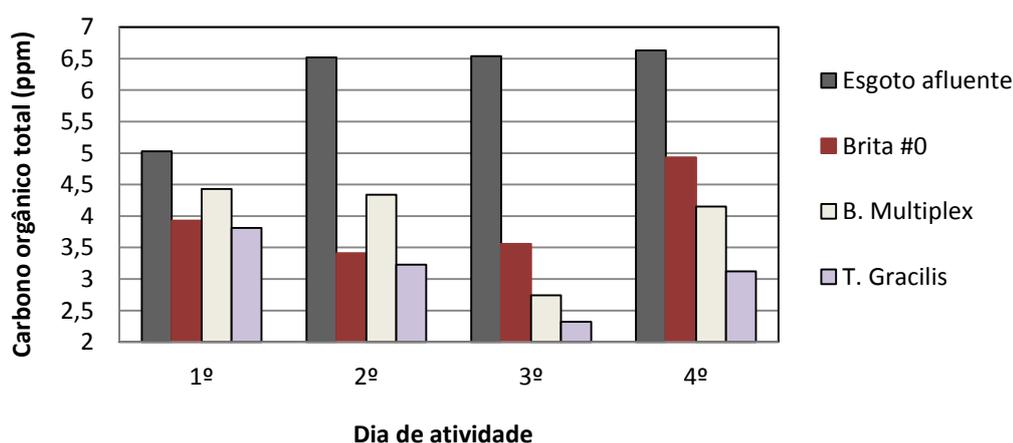
serragem de madeira e de 40% com bagaço de cana-de-açúcar, no tratamento de águas residuárias da despolpa de frutos do café.

Ao compararmos à brita utilizada nesse estudo com a brita nº4, que segundo Queiroz et. al. (2004) é o material mais utilizado para enchimento de filtros no Brasil, os resultados não são satisfatórios. Costa Couto (1993), que empregou como recheio anéis de plástico e brita nº4, obteve remoção entre 70 e 80% de sólidos suspensos totais para ambos os materiais. O desempenho abaixo do verificado na literatura pode ser explicado devido às características do esgoto bruto utilizado.

Outro fator que poderia ser apontado como influência para o baixo desempenho na remoção de sólidos totais seria a altura dos filtros. No entanto, Daltro e Povinelli (1989), ao compararem filtros com alturas de 1,86 e 0,67 m, obtiveram porcentagens de remoção de sólidos totais acima de 70% para ambos os filtros. Tais resultados demonstram que a altura dos filtros utilizados no experimento não exerce grande influência no desempenho.

Em termos de COT, os filtros apresentaram remoção de matéria orgânica alcançando eficiência de até 64,5% para o filtro com anéis de *T. Gracilis*. Resultados como esse foram constatados por outros autores, tais como Tonetti et. al. (2004) que obtiveram redução de 62,41% ao avaliar efluente de filtro anaeróbico com recheio de bambu.

Os demais filtros apresentaram eficiência na remoção de COT de 58,10% (*B. Multiplex*) e 47,69% (brita #0), como pode ser verificado na Figura 2.



**Figura 2.** Variação da média de COT ao longo do experimento.

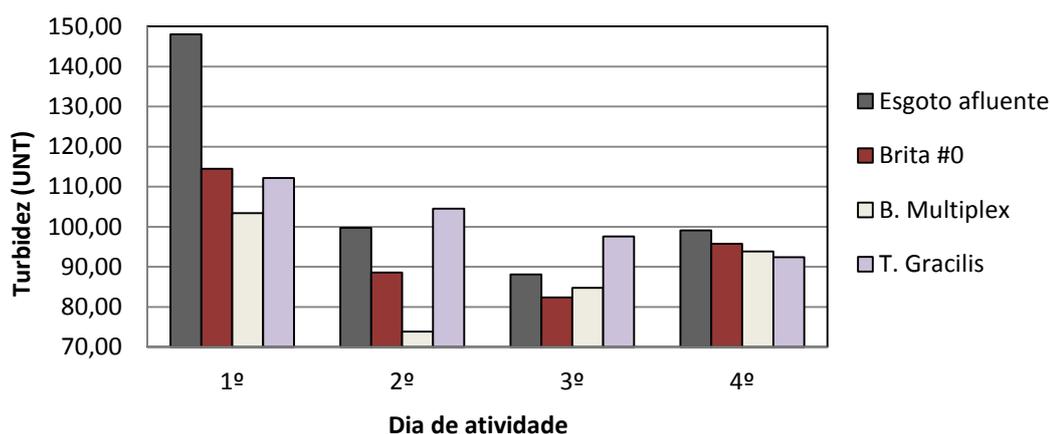
**Fonte:** Autores, 2017.

Verifica-se a partir da Figura 2 que no 4º dia os valores de COT nos efluentes dos filtros orgânicos se elevaram, não mantendo o mesmo decaimento em relação aos dias anteriores. Possivelmente esse resultado tenha sido consequência da interrupção do experimento durante o final de semana. Com essa interrupção, a biomassa no leito filtrante

pode ter aumentado em decorrência da falta de alimento, matéria orgânica, contribuindo para a saturação do reator, de modo que, ao se iniciar as operações no 4º dia, a biomassa tenha sido eliminada com o efluente e elevado os valores de COT.

Em se tratando de matéria orgânica em termos de DQO, o esgoto afluente apresentou concentração média de  $859 \pm 1,41 \text{ mgL}^{-1}$ , estando acima da faixa considerada típica por von Sperling (1997), que varia entre 400 a  $800 \text{ mgL}^{-1}$  para esgotos domésticos. Enquanto que os efluentes dos filtros apresentaram concentração média de  $131,5 \pm 9,18 \text{ mgL}^{-1}$  (*B. Multiplex*),  $207,5 \pm 3,53 \text{ mgL}^{-1}$  (*T. Gracilis*) e  $196,5 \pm 4,94 \text{ mgL}^{-1}$  (brita #0), alcançando-se remoção de 84,69%, 75,90% e 77,12%, respectivamente. Resultados bem próximos a esses foram verificados por Tonetti et. al. (2011) que obtiveram eficiência média na remoção de DQO de  $76 \pm 12 \%$  em reatores com meio suporte de bambu no tratamento de esgoto bruto com DQO média de  $823 \pm 113 \text{ mgL}^{-1}$ .

Quanto aos resultados de turbidez, a Figura 3 evidencia que o próprio esgoto reduziu a turbidez ao longo dos dias, enquanto o filtro com leito de *T. Gracilis* apresentou valores de turbidez maiores que o esgoto afluente. Esse resultado não era esperado, pois de acordo com a literatura, o alto índice de vazios do meio filtrante contribui para a retenção de biomassa no interior do reator, produzindo efluente com baixa turbidez. Possivelmente, pode ter ocorrido sedimentação de sólidos no reservatório primário e carreamento de finos do leito com *T. Gracilis*, colaborando para que o esgoto apresentasse turbidez inferior ao efluente desse filtro, no 2º e 3º dia.



**Figura 3:** Valores de turbidez das amostras de esgoto afluente e efluente dos filtros.

**Fonte:** Autores, 2017.

Somente no quarto dia a turbidez desse filtro voltou a ser menor que a do esgoto, e inclusive, apresentando a maior remoção do dia (6,79%). Tonetti (2008), ao avaliar filtros anaeróbios com recheio de bambu, verificou remoções de turbidez maiores nas últimas

semanas analisadas e apontou o desprendimento de materiais da estrutura do bambu presente no recheio como possível fonte de contaminação do efluente.

O filtro com *B. Multiplex* apresentou o maior desempenho na remoção de turbidez, chegando a uma eficiência de  $28,05 \pm 8,64\%$  nos primeiros dois dias de aplicação. Esse resultado corrobora com Tonetti (2008) que obteve uma remoção de  $25,9 \pm 35,3\%$  no efluente de filtros anaeróbios com leito de bambu.

O CONAMA não estabelece padrões de lançamento de turbidez para efluentes, mas a Resolução nº 357 (2005) afirma que todo afluente a ser lançado em corpos d'água de classe 2 e 3, não poderá elevar a turbidez dos corpos receptores a valores superiores a 100 UNT. Sendo assim, o efluente dos filtros com brita #0 e *B. Multiplex* só poderiam ser lançados em corpo receptor a partir do 2º dia de atividade, e para filtro com *T. Gracilis* a partir do 3º dia, o que sugere a necessidade de recirculação do efluente nos filtros. No entanto, a diminuição da turbidez do esgoto afluente, consequência da possível sedimentação de sólidos no reservatório primário compromete essa análise e inviabiliza qualquer outra em relação ao período para estabilização da turbidez efluente.

## **CONCLUSÕES**

1 – Os filtros avaliados apresentaram eficiência abaixo do verificado na literatura para a remoção de sólidos totais, não se conhecendo o fator determinante para o baixo desempenho.

2 – A utilização dos filtros com o intuito de lançamento do efluente em corpo d'água receptor não se mostrou aceitável, de acordo com os padrões legais referentes à turbidez, para nenhum dos materiais filtrantes no primeiro dia de atividade, sendo necessário incorporar um processo de recirculação desses efluentes nos filtros. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a adoção de mecanismos que impeçam a sedimentação de sólidos do esgoto afluente e causem a variação da turbidez.

3 – Os filtros com leito de bambu apresentaram maior desempenho em relação ao leito com brita #0 no tocante à remoção de turbidez, de 30,13%, e matéria orgânica, em termos de COT e DQO de 64,50% e 84,69%, respectivamente. Esses resultados comprovam a eficiência do bambu em relação à brita avaliada, considerando-se os parâmetros citados, e justifica o emprego do bambu como material filtrante em pequenas localidades com tratamento de esgoto ausente ou ineficaz.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal de Goiás e à Universidade Estadual de Goiás.

## **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, R.A. Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais. Revista Eletrônica de Enfermagem, v.07, n.03, p.308-318, 2005. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/fen/article/view/902/1097>> Acesso em: 09 de ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2009, 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809**: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2008, 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13292**: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 1995, 8p.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 10 ago. 2017.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ano 142, n.53, 18 mar. 2005. Seção 1, p.58-63.

COSTA COUTO, L. C., **Filtro anaeróbio com bambu para tratamento de esgotos domésticos**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Dissertação de Mestrado. 1993.

DALTRO FILHO, Jose; POVINELLI, Jurandyr Desempenho do sistema decanto-digestor filtro anaeróbio de camada suporte reduzida, para o tratamento de esgotos sanitários In: Anais do Vigésimo Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria, ABES, Belém, p.226-239, 1989.

DIAS POÇAS, CRISTIANE. **Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: Controle de nutrientes**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública USP. São Paulo, 2015, 93 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008.** Disponível em: <<http://ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/default.shtm>>. Acesso em 24 jan. 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking de Saneamento 2015. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2015>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

Lo MONACO, P.A.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A.; JORDÃO, C.P. Eficiência de materiais orgânicos filtrantes no tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.10, n.1-4, p.40-47, 2002.

QUEIROZ, S.C.B.; NAVAL, L. P.; SILVA, G. G. **Avaliação da eficiência de um filtro anaeróbio com recheio de bambu utilizado como pós-tratamento de um reator UASB em escala real.** Apresentado em: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29, San Juan, Ago. 2004.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEMANETO (SNIS). **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto 2015.** Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

TONETTI, A. L. Tratamento de esgotos pelo sistema combinado filtro anaeróbio e filtros de areia. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008, 131 p.

100

TONETTI, A.L.; FILHO, B. C.; Guimarães, J. R., CRUZ, L. M. O., NAKAMURA, M. S. **Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio.** *Eng. Sanit. Ambient.* 2011, vol.16, n.1, p.11-16.

TONETTI, A.L; CORAUCCI F., B; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F. O emprego do filtro de areia no pós-tratamento de efluente de filtro anaeróbio. *Senare. Revista técnica da Sanepar*, Curitiba, v.21, n. 21, p. 42-52, jan/jun 2004.

VAN HAANDEL, A. C; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande, EPGRAF, 1994, 199 p.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. 1ª edição. Belo Horizonte, UFMG. 1997.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, 2008, 219 p.