



Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros operando com esgoto doméstico

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.625>)

**Rafael Oliveira Batista¹; Márcia Aparecida Sartori²;
Antônio Alves Soares³;
Fernanda Negreiros Moura²;
Maria Regilene de Freitas Costa Paiva²**

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró-RN
e-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br;

² Faculdade do Noroeste de Minas – FINOM, Paracatú-MG
e-mail: marciasartoriufv@yahoo.com.br;
e-mail: fernandanegreiros17@hotmail.com;
e-mail: regilene_costa@hotmail.com;

³ Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa-MG
e-mail: aasoares@ufv.br

RESUMO

No presente trabalho, objetivou-se analisar a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em biofiltros operando com esgoto doméstico. Os ensaios experimentais foram realizados na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG. O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as taxas de aplicação do esgoto doméstico (0,5; 1,0; e 1,5 m³ m² d⁻¹), nas subparcelas os tipos de material orgânico (lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira) e nas subsubparcelas os tempos das avaliações (agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2009), no delineamento em blocos casualizados com três repetições. A montante e a jusante dos 27 biofiltros foram coletadas amostras do esgoto doméstico, mensalmente, para determinação da DBO e DQO, durante cinco meses. De acordo com os resultados, conclui-se que os efluentes dos biofiltros atendem ao padrão nacional para lançamento em corpos hídricos, no que se refere à DBO, após período de estabilização dos elementos filtrantes; e o uso de biofiltros para o tratamento de esgoto doméstico é uma tecnologia viável para pequena escala, pois possui baixo custo, fácil operação e boa capacidade de remoção de poluentes bioquímicos.

Palavras-chave: biofiltros; minhocas; poluição ambiental.

Potential removal of biochemical pollutants in biofilters operating with domestic sewage

ABSTRACT

The present study aimed to analyze the removal of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) in biofilters operating with domestic sewage. Experimental tests were conducted at the Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG. The experiment was a split split plot scheme, and in the plots different rates of sewage (0.5, 1.0 and 1.5 m³ m² d⁻¹) were applied, in the subplot, types of organic material (waste compost, sugar cane bagasse and sawdust) were tested and in the subsubplots, five dates of measurements (August, September, October, November and December 2009) were evaluated, in a randomized block with three replications. Samples of domestic sewage were collected

upstream and downstream of 27 biofilters for determination of BOD and COD, monthly for five months. The results showed that the effluent from biofilters meets the national standard for release in water streams, with regard to the BOD, after stabilization of the filter elements, and the use of biofilters for the treatment of domestic sewage is a viable technology for small scale because it has low cost, easy operation and good ability to remove biochemical pollutants.

Keywords: biofilter; earthworms; environmental pollution.

1. INTRODUÇÃO

A inadequação dos serviços de saneamento básico é a principal causa de doenças e de poluição ambiental no mundo. De acordo com o HDR (UNDP, 2006), cerca de 2,6 bilhões de habitantes moram em domicílio sem rede de esgoto, dos quais 660 milhões sobrevivem com menos de dois dólares por dia. Em detrimento disso, anualmente, cerca de 1,7 milhões de crianças morrem em resultado direto de diarreia e de outras doenças provocadas por más condições de saneamento.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, 44,8% dos municípios brasileiros não possuíam rede coletora de esgoto doméstico bruto. Enquanto, no Brasil apenas 28,5% dos municípios dispõem de sistema para tratamento de esgoto doméstico bruto (IBGE, 2010).

No que concerne às companhias de saneamento, o lançamento de esgoto doméstico bruto em corpos hídricos altera as características naturais da água, a partir do ponto de lançamento e compromete sua qualidade para consumo humano ou mesmo para uso em atividades agropecuárias (Ribas e Fortes Neto, 2008).

O esgoto doméstico é aquele que provém, principalmente, de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações com banheiros, lavanderias e cozinhas. É constituído por resíduos humanos (fezes e urina) e águas produzidas nas diversas atividades diárias, como asseio corporal, preparo de alimento, lavagem de roupas e utensílios domésticos (Von Sperling, 2005).

De acordo com Chernicharo et al. (2006), as principais tecnologias de tratamento de esgotos domésticos nas companhias de saneamento são as seguintes:

Tratamento preliminar/primário: tem por finalidade remover as partículas sólidas grosseiras e reduzir a concentração dos sólidos suspensos presentes nos esgotos domésticos brutos, por meio de processos físicos ou físico-químicos. Grades, caixas de areia e separadora de óleos e graxas, tanques floculadores, flotores, sedimentadores e filtros pertencem a essa classe;

Tratamento secundário: tem por finalidade a redução de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos muito pequenos. Os processos biológicos de remoção utilizados classificam-se em: aeróbio - utiliza micro-organismos que necessitam continuamente de oxigênio dissolvido, no meio líquido, fornecido por aeração mecânica e difusa ou pela circulação dos líquidos (lagoas aeradas); e anaeróbio - utiliza micro-organismos que não necessitam de oxigênio dissolvido no meio líquido, sendo utilizado em esgotos domésticos com alta carga orgânica (biodigestores, reatores e lagoas anaeróbias); e,

Tratamento terciário: objetiva a redução do nível populacional de bactérias patogênicas, bem como a remoção final da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistem nas etapas anteriores. De modo geral, são utilizados quando o esgoto doméstico é lançado em corpos hídricos receptores ou para a reutilização da água. Os filtros biológicos, lagoas de maturação e lagoas de aguapés pertencem a essa classe.

Tratamento secundário/terciário: tem por objetivo a redução da concentração de nutrientes e do nível populacional de micro-organismos patogênicos presentes nos esgotos domésticos. Os sistemas alagados construídos, rampas de escoamento superficial infiltração-percolação e reúso de água pertencem a essa classe (Loures et al., 2006; Matos et al., 2010a).

No entanto, as tecnologias utilizadas pelas companhias de saneamento tornam-se inviáveis para comunidades rurais de baixa renda, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção quanto pela grande dispersão populacional nas zonas rurais. Portanto, existem necessidades quanto ao desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e de fácil operação para o tratamento de esgoto doméstico; e que possibilitem aumento de renda pelo uso do efluente tratado na fertirrigação de cultivos agrícolas com sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, destacam-se as seguintes tecnologias:

Filtros orgânicos: são equipamentos constituídos de materiais filtrantes orgânicos capazes de remover solutos e reter sólidos que sejam subprodutos das atividades humanas, agropecuárias e industriais. É uma tecnologia que se destaca pela abundância de meios filtrantes orgânicos, baixo custo de aquisição e possibilidade de compostagem, depois de utilizados (Magalhães et al., 2006; Matos et al., 2010b).

Filtros biológicos: são dispositivos compostos de materiais orgânicos e inorgânicos, geralmente, possuem quatro camadas: a primeira é constituída de material orgânico com elevado nível populacional de micro-organismos e minhocas, para absorção e degradação da matéria orgânica presente nos esgotos domésticos; a segunda camada possui apenas material orgânico, proporcionando nova filtração do efluente. A terceira e quarta camadas são constituídas por pedras, tendo por finalidade proporcionar a aeração e a permeabilidade no sistema. Laws (2003) analisou a qualidade da filtração de biofiltros operando com esgoto doméstico bruto na taxa de $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Os resultados indicaram que no esgoto doméstico tratado houve remoção de 95% da demanda química de oxigênio, de 80% dos sólidos suspensos totais e de 70% no nitrogênio e fósforo.

A utilização de filtros biológicos no tratamento de esgotos domésticos favorece a utilização de radiação solar em etapas subsequentes, devido principalmente à elevada remoção de sólidos, que potencializa, assim, a inativação dos organismos patogênicos pela radiação ultravioleta (Sanchez-Roman et al., 2007).

Soto e Tohá (1998) consideram os filtros biológicos como uma alternativa de uso para o tratamento de águas residuárias domésticas e industriais, produzidas em pequena escala, e que têm como principais vantagens o fato de requererem espaços reduzidos para sua instalação, a inexistência da emissão de maus odores e o fácil manejo e baixo custo de instalação.

O presente trabalho objetivou analisar a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em biofiltros preenchidos com serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e lixo compostado domiciliar operando nas taxas de aplicação 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de esgoto doméstico.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O trabalho foi realizado na Unidade Piloto de Tratamento de Água Residuária e Agricultura Irrigada (UTAR), uma das áreas experimentais do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), situada em Viçosa, Minas Gerais, tendo como coordenadas geográficas: latitude $20^{\circ}45'14''$ S, longitude $42^{\circ}52'53''$ W e a altitude média de 650 m.

A UTAR é abastecida com vazão de 2 L s^{-1} de esgoto doméstico bruto, proveniente de 600 pessoas que habitam o condomínio residencial Bosque Acamari, em Viçosa-MG.

Para avaliar a eficiência do tratamento de esgoto doméstico bruto com os biofiltros, o afluente passou por um sistema preliminar constituído de um desarenador, um medidor de

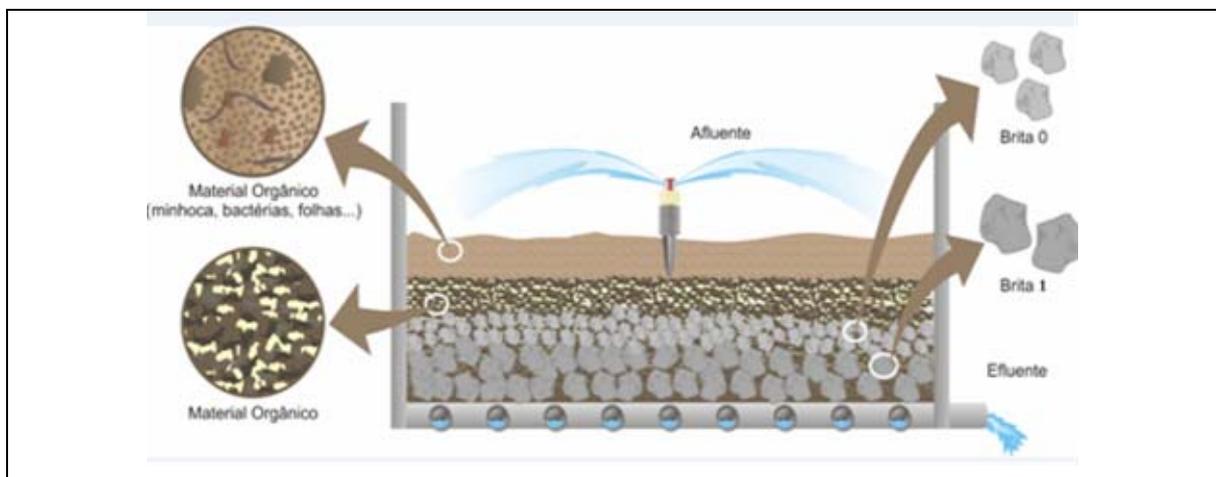
vazão e uma caixa de homogeneização e por um tratamento primário com tanque séptico dotado de tempo de retenção hidráulica de 14 horas e, em seguida o efluente era aplicado pela superfície dos biofiltros.

Os biofiltros foram avaliados em bancada experimental constituída de 27 módulos em alvenaria, nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento por 1,2 m de altura (Figura 1a).

Nesses módulos foram ensaiados três tipos de materiais orgânicos filtrantes (bagaço de cana-de-açúcar com granulometria de 8 mm, serragem de madeira com granulometria de 2,0 a 5,0 mm e lixo orgânico domiciliar compostado com granulometria de 2,0 a 5,0 mm) e três taxas de aplicação de esgoto doméstico bruto (0,5; 1,0 e 1,5 m³ m⁻² dia⁻¹).



(a)



(b)

Figura 1. Ilustração da bancada experimental dos biofiltros construídos em alvenaria (a) e detalhe das camadas filtrantes dos biofiltros preenchidos com material orgânico e inorgânico (b).

Os 27 biofiltros destinados ao tratamento de esgoto doméstico foram preenchidos com quatro meios filtrantes sendo duas camadas de materiais orgânicos e duas de materiais inorgânicos.

A primeira camada tem 0,20 m de espessura, sendo constituída de material orgânico, onde foram adicionadas minhocas da espécie *Eisenia phoetida*. A segunda camada de 0,40 m de espessura foi preenchida somente com material orgânico. Enquanto, a terceira e quarta

camadas foram compostas por britas 0 e 1 perfazendo espessura de 0,40 m, visando favorecer a drenagem no biofiltro e garantir a aeração contínua no sistema.

No fundo de cada módulo foi instalado um sistema de drenagem, composto por tubos de PVC com diâmetro nominal de 32 mm, para a coleta do efluente tratado. Na Figura 1b está apresentada uma ilustração das camadas filtrantes dos biofiltros, bem como do sistema de drenagem.

Na montagem dos biofiltros, os materiais orgânicos foram acondicionados nas bancadas de forma gradual, em camadas de 0,2 m de espessura, sob compressão de $0,167 \text{ kgf cm}^{-2}$ ($16,35 \text{ kN m}^{-2}$), pressão exercida por um homem, de 50 kgf de peso, até ser atingida a altura de 0,60 m. Abaixo das camadas orgânicas foram colocadas as duas camadas de brita para drenagem dos efluentes.

Os módulos foram circundados por sombrite, para evitar a ação de predadores naturais das minhocas. Os módulos foram abastecidos com esgoto doméstico, provenientes do tanque séptico com tempo de detenção de 14 horas, utilizando-se três motobombas de 3 cv, três reservatórios $2,5 \text{ m}^3$ e tubos de PVC de 25 mm perfurados ao longo do seu comprimento formando pequenos tubos janelados, enquanto o módulo controle foi preenchido com solo contendo material humificado até a altura de 0,70 m.

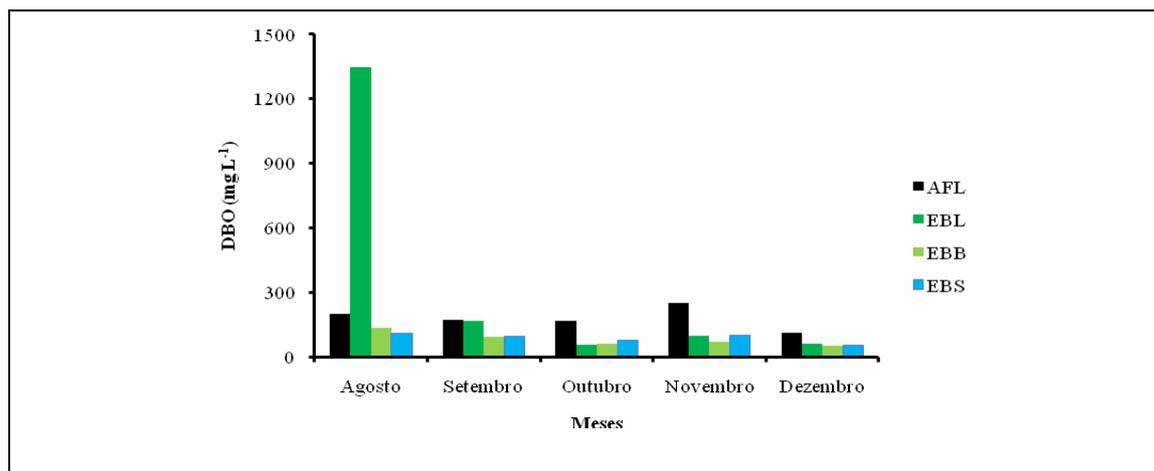
Para a determinação da taxa de aplicação mediu-se e ajustou-se a vazão de entrada em cada um dos biofiltros de modo que ficasse uniforme em todos. Em função dessa vazão, calculou-se o tempo de funcionamento das bombas para a aplicação das taxas diárias. Obteve-se um tempo de aplicação de 2 horas para a taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, 4 horas para a taxa de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e 6 horas para a taxa de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A vazão de cada módulo foi determinada coletando-se o volume aplicado durante um minuto.

Para avaliação da qualidade do efluente foram obtidas amostras compostas a montante e a jusante dos biofiltros, a partir de amostras simples coletadas em quatro horários (às 8, 11, 14 e 17 horas). No Laboratório de Qualidade da Água (DEA/UFV) foram realizadas mensalmente, durante cinco meses, as análises de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). As coletadas e análises dos efluentes foram realizadas sempre na última semana de cada mês, iniciando-se em agosto de 2009 e finalizando em dezembro de 2009.

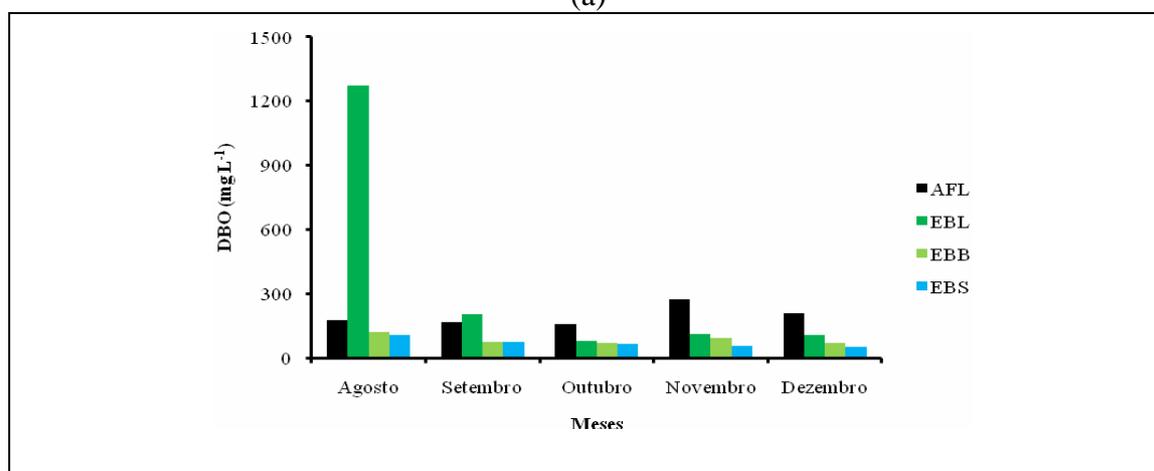
O experimento foi montado em esquema de parcelas subsubdivididas, tendo nas parcelas as taxas de aplicação do esgoto doméstico ($0,5$; $1,0$; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), nas subparcelas os tipos de material orgânico (lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira) e nas subsubparcelas os tempos das avaliações (agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2009), no delineamento em blocos causalizados com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de média. Na análise de variância, foi utilizado o teste F num nível de até 5% de probabilidade. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

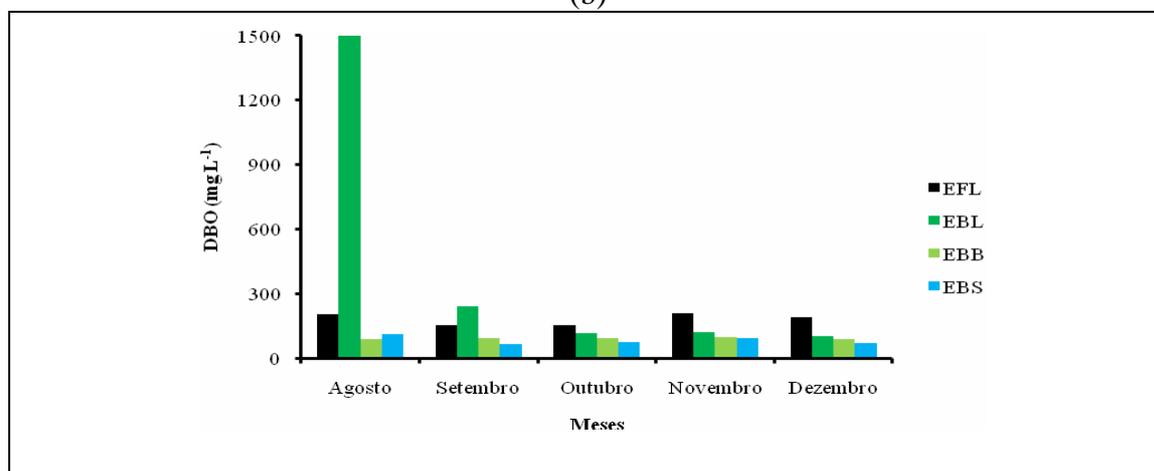
Na Figura 2 estão apresentados os valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de amostras de esgoto doméstico coletadas a montante e a jusante dos protótipos de filtro biológico com lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de $0,5$, $1,0$ e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Valores do DBO de amostras de esgoto doméstico coletadas a montante e a jusante dos protótipos de filtro biológico submetidos às taxas de aplicação de 0,5 (a), 1,0 (b) e 1,5 (c) $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (AFL - esgoto doméstico sem tratamento, EBL - esgoto doméstico coletado a jusante do filtro biológico com lixo compostado, EBB - esgoto doméstico coletado a jusante do filtro biológico com bagaço de cana-de-açúcar e EBS - esgoto doméstico coletado a jusante do filtro biológico com serragem de madeira).

Verifica-se, no mês de agosto de 2009, que houve aumento na concentração da DBO dos efluentes coletados a jusante dos protótipos de filtro biológico com lixo compostado submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ em relação ao esgoto doméstico sem tratamento. Tal fato é atribuído ao desprendimento de material orgânico durante o processo de infiltração do esgoto doméstico sem tratamento no meio filtrante, tendo em vista que não houve processo prévio de inoculação do sistema.

De acordo com a Resolução CONAMA n.º 430/211, os efluentes coletados nos protótipos de filtro biológico com serragem de madeira submetido às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, no período de agosto a dezembro de 2009, atendem ao limite nacional de 120 mg L⁻¹, estabelecido para o lançamento em corpos hídricos (Brasil, 2011). Enquanto, para os protótipos de filtro biológico preenchidos com bagaço de cana-de-açúcar e lixo compostado, tal limite foi atendido a partir dos meses de setembro e outubro de 2009, respectivamente, em função do desprendimento de material orgânico dos elementos filtrantes.

As concentrações médias da DBO nos efluentes coletados a jusante dos protótipos de filtro biológico com lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ apresentaram variação de 51,38 a 1.551,37 mg L⁻¹.

Constam, na Figura 3, os valores da Demanda Química de Oxigênio (DQO) de amostras de esgoto doméstico coletadas a montante e a jusante dos protótipos de filtro biológico com lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹.

Nota-se, no mês de agosto de 2009, que houve aumento na concentração da DQO dos efluentes coletados a jusante dos protótipos de filtro biológico com lixo compostado submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ em relação ao esgoto doméstico sem tratamento, devido ao desprendimento de material químico do elemento filtrante, tendo em vista que não houve processo prévio de inoculação do sistema.

Segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 1/2008, os efluentes coletados nos protótipos de filtro biológico com serragem de madeira submetido à taxa de aplicação de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹ no período de outubro a dezembro de 2009 apresentaram remoção média de DQO superior ao mínimo de 55%, estabelecido para o lançamento em corpos hídricos (Minas Gerais, 2008).

As concentrações médias da DQO nos efluentes coletados a jusante dos protótipos de filtro biológico com lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ oscilaram de 160,88 a 4.654,12 mg L⁻¹.

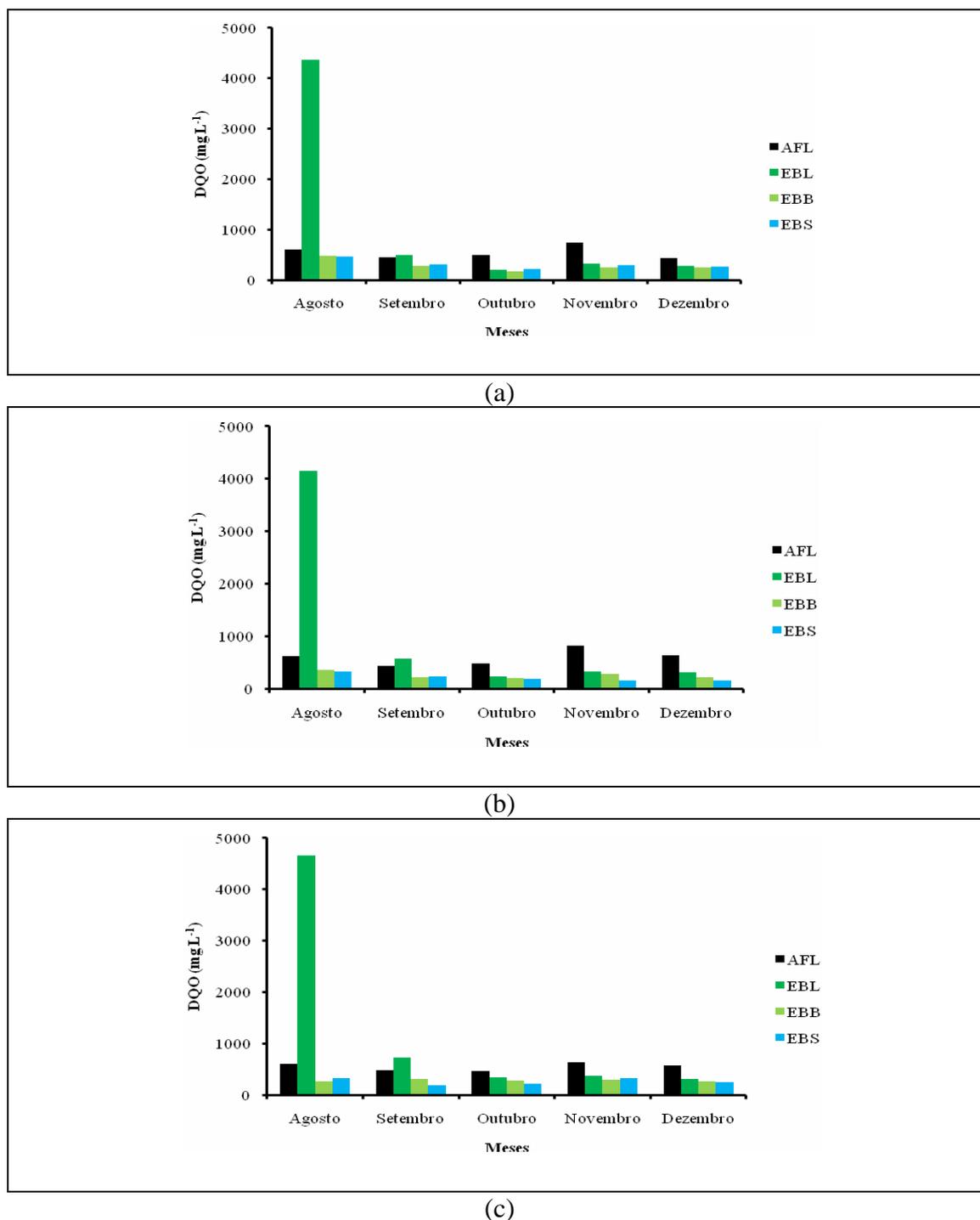


Figura 3. Valores do DQO de amostras de esgoto doméstico coletadas a montante e a jusante dos protótipos de filtro biológico submetidos às taxas de aplicação de 0,5 (a), 1,0 (b) e 1,5 (c) $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (AFL - esgoto doméstico sem tratamento, EBL - esgoto doméstico coletado a jusante do filtro biológico com lixo compostado, EBB - esgoto doméstico coletado a jusante do filtro biológico com bagaço de cana-de-açúcar e EBS - esgoto doméstico coletado a jusante do filtro biológico com serragem de madeira).

Na Tabela 1, encontra-se o resumo da análise de variância dos valores de remoção de DQO e DBO dos protótipos de biofiltros, no esquema de parcelas subdivididas. Verificou-se, na variável de remoção de DQO, que a interação T x TA x TM foi significativa a 1% de

probabilidade (Tabela 1). No entanto, para a variável remoção de DBO a interação T x TA x TM foi não significativa a 5% de probabilidade (Tabela 1). Para estudar o desempenho nos protótipos de filtro biológico considerou-se significativo a interação T x TA x TM para a variável de remoção de DBO. Em vista dos resultados das análises de variância, procedeu-se ao desdobramento da interação T x TA x TM para as variáveis de remoção de DQO e DBO.

Tabela 1. Resumo das análises de variância obtidas das variáveis DQO e DBO, no esquema de parcelas subdivididas.

| Fonte de variação | Grau de liberdade | Quadrado médio | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| | | DQO | DBO |
| Taxa de aplicação (TA) | 2 | 3571** | 2800 ^{ns} |
| Resíduo (a) | 6 | 417 | 1278 |
| Tipos de materiais orgânicos (TM) | 2 | 3,48x10 ⁵ ** | 1513** |
| TA x TM | 4 | 3,55x10 ⁵ ** | 2504 ^{ns} |
| Resíduo (b) | 12 | 323 | 1010 |
| Tempo de avaliação (T) | 4 | 2,78x10 ⁵ ** | 675 ^{ns} |
| T x TA | 8 | 2,40x10 ⁵ ** | 739* |
| T x TM | 8 | 2,87x10 ⁵ ** | 513 ^{ns} |
| T x TA x TM | 16 | 2,46x10 ⁵ ** | 576 ^{ns} |
| Resíduo (c) | 72 | 380 | 807 |

** , * e ^{ns} F significativos a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.

Estão apresentados, na Tabela 2, os valores médios da variável de remoção DQO (%) para o fator tipo de material orgânico dentro de cada nível de tempo de aplicação e cada nível de taxa de aplicação. Constata-se, nesse quadro, que não houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de DQO, para cada tipo de material orgânico, no período de outubro a dezembro de 2009, em função dos processos de estabilização de cada meio filtrante.

Comparando as médias da variável de remoção de DQO seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula nas colunas da Tabela 2, verificou-se que: a remoção de DQO nos protótipos de filtro biológico com lixo compostado submetidos à taxa de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ diferiu entre si, no mês de agosto de 2009; e os protótipos de filtros biológicos com lixo compostado submetidos à taxa de aplicação de 0,5 m³ m⁻² d⁻¹ apresentou remoção de DQO que diferiu das taxas de aplicação de 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, no mês de setembro de 2009.

Analisando-se as médias da variável de remoção de DQO seguidas de, pelo menos, uma mesma letra minúscula nas linhas da Tabela 2, observou-se que: nos meses de agosto e setembro de 2009, a remoção de DQO nos protótipos de filtro biológico com lixo compostado submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ diferiu da obtida nos protótipos de filtro biológico com os demais tipos de materiais orgânicos.

Após os dois primeiros meses de operação dos biofiltros, nota-se que não existe mais o efeito do aumento da DQO, em função da estabilização do lixo compostado como meio filtrante. Nesse as remoções de DQO oscilaram de - 666,69 a 59,78% ao longo do período experimental.

Considerando as três taxas de aplicação de esgoto doméstico, nos biofiltros com serragem de madeira as remoções de DQO oscilaram de 24,76 a 80,10%, enquanto nos biofiltros contendo bagaço de cana-de-açúcar as remoções de DQO variaram de 21,18 a 66,45%. Os biofiltros preenchidos com serragem de madeira e bagaço de cana não apresentaram, ao longo do período experimental, aumento da DQO.

Os valores de remoção de DQO apresentados na Tabela 2 foram inferiores aos obtidos por Gilbert et al. (2008). Os referidos autores operaram biofiltros com serragem de madeira, turfa e areia grossa para o tratamento de dejetos da suinocultura. Após 180 dias de operação dos biofiltros verificaram remoções da DQO de 83 a 99%.

Tabela 2. Valores médios da variável de remoção de DQO (%) para o fator tipo de material orgânico dentro de cada nível de tempo de aplicação e cada nível de taxa de aplicação.

| Tempo de aplicação | Tipos de materiais orgânicos | Taxa de aplicação ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) | | |
|--------------------|------------------------------|--|-----------|-----------|
| | | 0,5 | 1,0 | 1,5 |
| Agosto | Lixo | -616,94Bb | -566,79Ab | -666,69Cb |
| | Bagaço | 21,18Aa | 41,51Aa | 56,86Aa |
| | Serragem | 24,76Aa | 48,01Aa | 45,15Aa |
| Setembro | Lixo | -11,73Ab | -31,43ABb | -50,11Bb |
| | Bagaço | 35,39Aa | 48,63Aa | 35,74Aa |
| | Serragem | 29,52Aa | 48,35Aa | 60,90Aa |
| Outubro | Lixo | 58,07Aa | 50,00Aa | 24,15Aa |
| | Bagaço | 64,27Aa | 56,16Aa | 39,82Aa |
| | Serragem | 54,63Aa | 59,84Aa | 52,63Aa |
| Novembro | Lixo | 56,90Aa | 59,78Aa | 41,77Aa |
| | Bagaço | 66,45Aa | 66,40Aa | 53,06Aa |
| | Serragem | 59,75Aa | 80,10Aa | 47,10Aa |
| Dezembro | Lixo | 36,04Aa | 49,38Aa | 44,73Aa |
| | Bagaço | 41,15Aa | 65,94Aa | 52,75Aa |
| | Serragem | 39,39Aa | 74,36Aa | 55,21Aa |

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas para cada tempo de aplicação e minúscula nas linhas para cada taxa de aplicação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 3, apresentaram-se os valores médios da variável de remoção de DBO (%) para o fator tipo de material orgânico dentro de cada nível de tempo de aplicação e cada nível de taxa de aplicação. Verifica-se, nesse quadro, que não houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de DBO, para cada tipo de material orgânico, no período de outubro a dezembro de 2009.

Estabelecendo-se comparação entre as médias da variável de remoção de DBO seguidas de, pelo menos, uma mesma letra maiúscula nas colunas da Tabela 3, constatou-se que a remoção de DBO nos protótipos de filtro biológico com lixo compostado submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ diferiu das demais taxas de aplicação, no mês de agosto de 2009; e os protótipos de filtros biológicos com lixo compostado submetidos à taxa de

aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ apresentou remoção de DBO que diferiu das demais taxas de aplicação, no mês de setembro de 2009.

Comparando-se as médias da variável de remoção de DBO seguidas de, pelo menos, uma mesma letra minúscula nas linhas da Tabela 3, notou-se que no mês de agosto de 2009, a remoção de DBO nos protótipos de filtro biológico com lixo compostado submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu da obtida nos protótipos de filtro biológico com os demais tipos de materiais orgânicos; e, no mês de setembro de 2009, a remoção de DBO nos protótipos de filtro biológico com lixo compostado submetidos às taxas de aplicação de 1,0 e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu da obtida nos demais tipos de materiais orgânicos.

Nota-se nos meses de agosto e setembro, que os biofiltros com lixo compostado apresentaram aumento da DBO nos efluentes coletados, em função da não estabilização do material como meio filtrante. As remoções de DBO para esses biofiltros variaram de -666,69 a 64,76.

Analisando-se as três taxas de aplicação de esgoto doméstico, nos biofiltros com bagaço de cana-de-açúcar as remoções de DBO foram de 30,33 a 70,91%, no período de agosto a setembro de 2009. Enquanto, no mesmo período, os biofiltros com serragem de madeira apresentaram remoções de DBO de 38,07 a 80,10%.

Tabela 3. Valores médios da variável de remoção de DBO (%) para o fator tipo de material orgânico dentro de cada nível de tempo de aplicação e cada nível de taxa de aplicação.

| Tempo de aplicação | Tipos de materiais orgânicos | Taxa de aplicação ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) | | |
|--------------------|------------------------------|--|-----------|-----------|
| | | 0,5 | 1,0 | 1,5 |
| Agosto | Lixo | -570,03Ab | -630,58Bb | -666,69Bb |
| | Bagaço | 32,02Aa | 30,33Aa | 56,86Aa |
| | Serragem | 44,44Aa | 38,07Aa | 45,15Aa |
| Setembro | Lixo | 2,95Aa | -21,45ABb | -56,62Bb |
| | Bagaço | 43,88Aa | 54,89Aa | 38,79Aa |
| | Serragem | 42,52Aa | 54,64Aa | 58,70Aa |
| Outubro | Lixo | 64,76Aa | 50,00Aa | 24,15Aa |
| | Bagaço | 64,27Aa | 56,16Aa | 39,82Aa |
| | Serragem | 54,63Aa | 59,84Aa | 52,63Aa |
| Novembro | Lixo | 61,36Aa | 59,78Aa | 41,78Aa |
| | Bagaço | 70,91Aa | 66,40Aa | 53,06Aa |
| | Serragem | 59,75Aa | 80,10Aa | 55,32Aa |
| Dezembro | Lixo | 46,90Aa | 49,38Aa | 44,73Aa |
| | Bagaço | 53,55Aa | 65,94Aa | 52,75Aa |
| | Serragem | 51,25Aa | 74,36Aa | 62,43Aa |

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas para cada tempo de aplicação e minúscula nas linhas para cada taxa de aplicação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

As remoções de DBO apresentadas na Tabela 3 foram menores que as obtidas por Gilbert et al. (2008). Os referidos autores obtiveram remoções de DBO de 99,9% em biofiltros com camadas de serragem de madeira, turfa e areia, após 180 dias de operação.

Os filtros orgânicos e biológicos são considerados sistemas ecológicos de tratamento de esgoto doméstico, pois não utilizam produtos químicos durante a operação. Os biofiltros preenchidos com serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e lixo compostado não geram resíduos que necessitem de tratamento posterior, em seu lugar produzem húmus que pode ser utilizado como fertilizante, tendo-se, assim, uma fonte adicional de nutrientes para uso agrícola corroborando com as afirmações de Laws (2003).

4. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos conclui-se que:

Com relação à DBO, os efluentes dos biofiltros atendem ao padrão nacional para lançamento em corpos hídricos, após período de estabilização dos elementos filtrantes;

Após o período de estabilização dos meios filtrantes, não houve diferenças significativas nos resultados comparando-se as taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ quanto à remoção de poluentes bioquímicos do esgoto doméstico, ao longo do período experimental; e

O uso de biofiltros para o tratamento de esgoto doméstico é uma tecnologia viável para pequena escala, pois possui baixo custo, fácil operação e boa capacidade de remoção de poluentes bioquímicos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Viçosa pelo acesso à área de estudo. Este trabalho foi financiado pela CAPES.

6. REFERÊNCIAS

- BRASIL. 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. Brasília, 2011. Disponível em: <http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 03 jun. 2011.
- CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M; MONTEGGIA, L. O. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABEAS, 2006. Cap. 3. p. 63 - 110. (Projeto PROSAB).
- GILBERT, Y.; LE BIHAN, Y; AUBRY, G.; VEILLETTE, M; DUCHAINE, C.; LESSARD, P. Microbiological and molecular characterization of denitrification in biofilters treating pig manure. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4495-4502, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.066>
- INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. 219p.
- LAWS, J. E. A. **Evaluación ambiental del sistema Tohá em la remoción de *Salmonella* en aguas servidas domésticas**. 2003. 92f. Tesis (Magister en Gestión y Planificación Ambiental) - Universidad de Chile, Santiago, 2003.

BATISTA, R. O.; SARTORI, M. A.; SOARES, A. A.; MOURA, F. N.; PAIVA, M. R. de F. C. Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros operando com esgoto doméstico. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 152-164, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.625>)

LOURES, A. P. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; PEREIRA, O. G. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 706-714, 2006.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 472-478, 2006.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LO MONACO, P. A. V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de água residuárias da suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, v. 5, n. 2, p.119-132, 2010a.

MATOS, A. T.; MAGALHAES, M. A.; SARMENTO, A. P. Perda de carga em filtros orgânicos utilizados no tratamento de água residuária de suinoculturas. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 527-537, 2010b. <http://dx.doi.org/10.1590/S010069162010000300016>

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM; Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH. **Deliberação Normativa Conjunta nº 1 de 5 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 14 jan. 2011.

RIBAS, T. B. C.; FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. **Revista Ambiente & Água**, v. 3, n. 3, p. 81-94, 2008.

SANCHES-ROMAN, R.; SOARES, A. A.; MATOS, A.T; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, O.; MOUNTEER, H. A. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 1, p. 65-71, 2007.

SOTO, M. A.; TOHÁ, J. Ecological Wastewater Treatment. In: INTERNACIONAL CONGRESS: ADVANCED WASTEWATER TREATMENT, RECYCLING AND REUSE, 2., Milan, 1998. **Proceedings...** Milan: AWT98, 1998. p. 1091-1094.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. **Human development report 2006**: power, poverty and the global water crisis. New York, 2006. 440p.