

TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA EM FILTROS ANAERÓBIOS VERTICAIS PARA APLICAÇÃO NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

VALDEMIRO SIMÃO JOÃO PITORO¹; TAMIRES DA SILVA LIMA²; RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN³ E JOÃO GABRIEL THOMAZ QUELUZ⁴

¹ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: vpitoro@gmail.com;

² Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: tamireslsilva@gmail.com;

³ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: rmsroman@fca.unesp.br.

⁴ Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Avenida 24 A, 1515, CEP: 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil, E-mail: queluz@fca.unesp.br.

1 RESUMO

O reúso das águas residuárias (AR) na agricultura tem sido considerada uma prática comum em todo mundo e uma alternativa para minimizar os impactos do atual cenário de escassez dos recursos hídricos. Contudo, a maior limitação do uso de AR compreende a sua adequação aos padrões de qualidade exigidos pelas diretrizes internacionais. Um sistema de tratamento de água composto por seis filtros anaeróbios (FA) de fluxo vertical descendente, subdivididos em dois leitos de igual número de filtros com material suporte brita #1 e brita #4 tiveram suas condições operacionais estudadas com o objetivo de avaliar o seu desempenho no tratamento de AR para aplicação na irrigação por gotejamento. Analisou-se a qualidade do afluente e do efluente tratado (EFT), nos parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos e demanda bioquímica de oxigênio. Os resultados indicam que os FA apresentaram um bom desempenho, sendo que a qualidade do EFT satisfaz as diretrizes internacionais e nacionais para sua aplicação na irrigação, exceto para o parâmetro DBO. O risco de obstrução dos gotejadores foi classificado como “nenhum” pelos parâmetros SST e SD, e “moderado” para pH; também observou uma redução de turbidez e SST acima de 97%. Embora não tenha se observado diferenças significativas na qualidade do EFT entre os materiais de suporte aplicados para a maioria dos parâmetros analisados, o leito de filtros com material suporte brita #1 apresentou melhores resultados, destacando-se a redução da turbidez e SST.

Palavras-chave: esgoto tratado, reúso na agricultura, obstrução de gotejadores.

**PITORO, V.S.J; LIMA, T. S; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M AND QUELUZ, J. G. T
WASTEWATER TREATMENT IN VERTICAL ANAEROBIC FILTERS FOR
APPLICATION IN DRIP IRRIGATION**

2 ABSTRACT

Reusing wastewater (RA) in agriculture has been considered a common practice worldwide and an alternative to minimize the impacts of the current water scarcity scenario. However, the greatest limitation of the use of RA is its adequacy to the quality standards required by international guidelines. A water treatment system composed of six descending vertical flow anaerobic filters (AF), subdivided into two beds of equal number of filters with support material # 1 and # 4 has been studied under operational conditions with the objective of evaluating their performance in the treatment of RA for application in drip irrigation. The following parameters were analyzed: temperature, pH, electrical conductivity, turbidity, total solids, total suspended solids, dissolved total solids and biochemical oxygen demand. Results indicate that AF presented good performance, and the quality of the treated effluent (EFT) satisfies international and national guidelines for application in irrigation, except for BOD parameter. The risk of obstruction of drippers was classified as "none" by SST and SD parameters, and "moderate" for pH; turbidity and SST reduction above 97% were also observed. Although there were no significant differences in EFT quality among the support materials applied for most of the analyzed parameters, the bed of filters with material support crushed # 1 presented better results, emphasizing the reduction of turbidity and SST.

Keywords: treated sewage, reuse in agriculture, obstruction of drippers.

3 INTRODUÇÃO

A água sempre foi um fator determinante para a sobrevivência e desenvolvimento socioeconômico da humanidade ao longo da sua história.

O aumento da demanda por água, devido ao crescimento populacional, degradação dos recursos hídricos e às atividades produtivas decorrentes, tem criado um cenário de escassez hídrica em diversas regiões do mundo (SILVA et al., 2012), que vem sendo intensamente influenciado também pelas mudanças de hábitos da população, em especial pela atividade agrícola irrigada.

Nos tempos atuais, são visíveis os esforços no sentido de identificar alternativas de otimização dos sistemas de irrigação, como também tem crescido o interesse no desenvolvimento de fontes alternativas de abastecimento de água; tanto para atividade agrícola assim como para as demais atividades (SILVA et al., 2012; WANG et al., 2017).

Nas últimas décadas o reuso de água residuária tratada para irrigação tem sido considerada uma prática comum em quase todo mundo, pelos inúmeros benefícios que proporciona, como é o caso da redução da pressão sobre as fontes de água fresca, garantia de disponibilidade de água durante todo o ano, aproveitamento de nutrientes para as culturas, redução dos impactos ambientais e dos custos com o descarte do efluente para os corpos de água naturais sejam elas superficiais ou subterrâneas (HARUVY, 2006).

Muitos agricultores rurais e peri-urbanos consideram o uso da água residuária como uma alternativa econômica ou de subsistência importante, porque pode-se encontrar nelas nutrientes mais prontamente disponíveis comparativamente as outras fontes de água (MARTIJN & REDWOOD, 2005). Existem casos relatados, em que se observou um aumento em até 37% na colheita com aplicação de efluente bruto em relação ao uso de água de

abastecimento ou fertilizantes químicos (SCOTT et al., 2000).

No contexto brasileiro, o uso de águas residuárias na agricultura ainda é pouco expressivo e as alterações que podem ocorrer nos sistemas de irrigação e nas características do solo são pouco conhecidas, necessitando de maiores investigações (SILVA et al., 2012). A semelhança do Brasil, vários outros são os países com restrições de uso de efluente na agricultura, sobretudo pelo fato de preocupações socioculturais influenciarem na formulação de políticas sobre sua utilização, a título de exemplo observa-se em muitos países do Oriente Médio do Norte da África, onde a prática é proibida por ser contrária aos valores islâmicos (MARTIJN & REDWOOD, 2005). Em contrapartida, existem em todo mundo numerosos exemplos de sucesso do uso da água residuária tratada na agricultura irrigada, reportados em países como Malta, França, Espanha, Grécia, Tunísia, Israel, Índia, E.U.A., entre outros (CHEN & LIU, 2015; DUARTE et al., 2008).

No que se refere aos sistemas de irrigação e em virtude do quadro de escassez hídrica, observa-se maior incentivo do uso de sistemas pressurizados, com preferência para sistemas de irrigação por gotejamento (SILVA et al., 2012). De acordo com Cararo et al. (2006) e Najafi et al. (2010), os sistemas de irrigação por gotejamento se apresentam como os mais adequados para aplicação de água residuária pelo fato minimizar o contato direto da água contaminada com o agricultor ou com o produto agrícola a ser colhido; que está associado segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO) (2006) ao fato da irrigação por gotejamento aplicar a água diretamente sob a planta, podendo também promover a remoção adicional de patógenos contidos na água.

O grande problema da utilização de água de baixa qualidade em sistemas de irrigação por gotejamento está associado à

modificação das características hidráulicas dos emissores pelo entupimento parcial ou total, e conseqüentemente afetando a uniformidade de distribuição da água. O entupimento de gotejadores em sistemas de irrigação por gotejamento é resultado de diversos fatores físicos, químicos e biológicos. Segundo Keller e Bliensner (1990), partículas maiores que 1/10 do diâmetro do emissor de água representam risco potencial de entupimento. Os sólidos suspensos que podem entupir os emissores na irrigação por gotejamento são constituídos na sua maioria por materiais orgânicos e inorgânicos.

Batista et al. (2010) avaliando o desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de esgoto doméstico tratado, observaram reduções de 4,49 e 10,58% nos valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) respectivamente devido à obstrução dos gotejadores, para um tempo de funcionamento do sistema de 120 horas, sendo que os mesmos autores observaram que a obstrução teve como origem principal a interação entre bactérias e algas presentes na água residuária.

Para a minimização do entupimento dos emissores em sistemas de irrigação são recomendadas diversas técnicas. Entre as práticas mais aceitas ambientalmente destacam-se a sedimentação, a filtragem, o aumento da pressão de serviço e a limpeza das linhas laterais (PUIG-BARGUES et al., 2010).

O entupimento de emissores pode ser considerado um fator limitante na utilização de águas residuárias em sistemas de irrigação por gotejamento e a magnitude do problema está associado a qualidade da água utilizada. Portanto, para o sucesso desta prática, é de fundamental importância que se intensifique o estudo de tecnologias de tratamento economicamente viáveis, ambientalmente seguros, e mais eficientes para garantir que os sistemas de irrigação

possam utilizar efluentes tratados de melhor qualidade, proporcionando redução do risco de entupimento dos emissores e à saúde humana.

Os filtros anaeróbios vêm sendo massivamente estudados nos últimos, e a atenção dada a eles está aumentando com o passar do tempo, considerados por diversos pesquisadores como um meio alternativo para o tratamento de águas residuárias (MANARIOTIS & GRIGOROPOULOS, 2007), especialmente em pequenas regiões descentralizadas (MANARIOTIS & GRIGOROPOULOS, 2006).

Comparado aos convencionais sistemas aeróbios, os sistemas anaeróbios têm sido indicados como sendo os menos dispendiosos, simples e de fácil operação (MANARIOTIS & GRIGOROPOULOS, 2007). No entanto, o número de pesquisas sobre a aplicação destes sistemas de tratamento de água, ainda é bastante reduzido, principalmente na configuração então proposta.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou, primeiramente, avaliar o desempenho dos filtros anaeróbios no tratamento de águas residuárias, que incluiu a identificação do material de suporte adequado para o efeito, em segundo, verificar se o tratamento de águas residuárias adotado tem potencial para reduzir os riscos de entupimento de

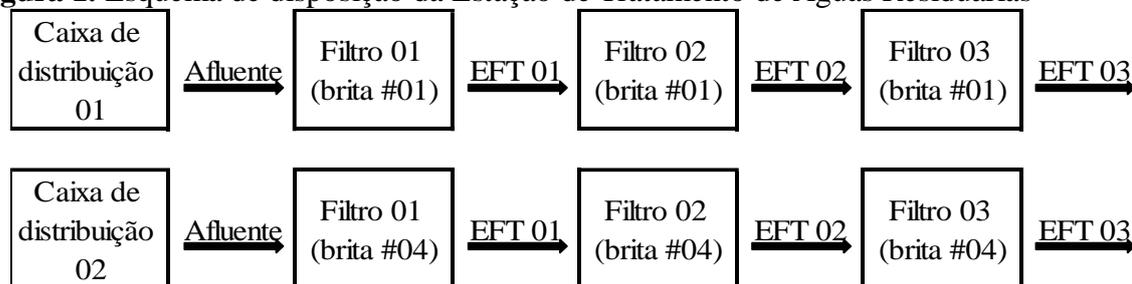
emissores em sistemas de irrigação por gotejamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Botucatu – São Paulo, nas coordenadas geográficas 22° 50' 48" S, 48° 26' 06" W e altitude de 817,74 m; o clima da região é definido como do tipo Cwa (segundo a classificação de Koppen): clima temperado quente (mesotérmico) com verão chuvoso e inverno seco, a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a precipitação média anual em torno de 1.501,4 mm (CAVALHEIRO & SOUSA, 1988; CUNHA et al., 2006).

A estrutura da estação de tratamento de águas residuárias (ETAR) (Figura 1) era composta por seis filtros confeccionados em barris plásticos de 200 litros cada (0,90 m de altura e 0,50 m de diâmetro), dispostos na vertical e subdivididos em dois leitos de igual número de filtros, diferenciados pelo material suporte brita #01 (diâmetro médio 14 mm) e brita #04 (diâmetro médio 90 mm). Para cada leito, os três estavam ligados em série através de uma tubulação PVC de 32 mm, sendo o fluxo de água vertical e descendente.

Figura 1. Esquema de disposição da Estação de Tratamento de Águas Residuárias



Cada barril foi preenchido de material suporte até a superfície e o nível da água mantido a 10 cm da superfície; proporcionando uma porosidade média de

48% e 52%, que corresponde a uma taxa média de aplicação diária de 95 e 105 litros, e um tempo de detenção hidráulica

aproximada de 2,38 e 2,33 dias para o leito brita #01 e brita #04 respectivamente.

A ETAR contou ainda, com uma caixa de água de 1.000 litros (para recepção do efluente secundário), uma caixa de 100 litros (caixa de distribuição 01), uma caixa

de 150 litros (caixa de distribuição 02) e caixa de 500 litros para a recepção do efluente tratado (EFT) para posterior descarte depois de passado pelos filtros (Figura 2).

Figura 2. Ilustração da ETAR instalado no Campus da FCA-Unesp, Botucatu



A ETAR foi monitorada durante um período de 35 dias, compreendendo os meses de outubro e novembro, período no qual foram realizadas cinco amostras do afluente e efluente tratado: As amostras foram coletadas conforme os métodos recomendados pelo Standard Methods 1060B (APHA, 2005) e preservadas de acordo com os métodos definidos pelo Standard Methods 1060C (APHA, 2005). Os parâmetros analisados foram: temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos totais (SST) e turbidez considerando quatro pontos de coleta de amostras por leito (afluente, EFT filtro 01, EFT filtro 02 e EFT filtro 03); e sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD)

e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) considerando dois pontos de coleta de amostras por leito (afluente e EFT filtro 03).

Todas as análises foram realizadas no laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Rural da FCA/Unesp, com exceção da turbidez que foi realizada no Laboratório da SABESP-Botucatu.

O desempenho da ETAR na remoção de poluentes das águas residuárias foi avaliado pela turbidez, ST, SST e DBO. A eficiência na redução destes poluentes foi definida percentualmente pela diferença das suas concentrações entre a entrada e saída do sistema (Equação 1).

$$\% \text{ da redução de concentração} = 100 \times (C_e - C_s)/C_e \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde “C” é a concentração do contaminante e o subíndices “e” e “s” se referem à entrada e saída do sistema de tratamento.

A adequação da qualidade do efluente tratado para o seu uso na irrigação de culturas agrícolas baseou-se nas diretrizes nacionais e internacionais; e risco de obstrução de emissores na classificação proposta por Nakayama & Bucks (1991), que é fundamentada pela concentração de fatores físicos-químicos-biológicos e sua relação com o processo de obstrução de emissores em sistemas de irrigação por gotejamento.

Os resultados obtidos também foram analisados estatisticamente considerando quatro repetições e três tratamentos, nomeadamente: T1 – efluente tratado na estação de tratamento de esgotos de Botucatu (considerada como afluente nesta pesquisa); T2 – efluente tratado no

leito brita #01 (EFT #01) e T3 – efluente tratado no leito brita #04 (EFT #04). Foi realizada análise de variância, e as médias comparadas, adotando-se o teste de Tukey para um nível de 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ETAR operou durante 105 dias e a amostragem iniciada 77 dias após o início do tratamento (AIT), tendo sido feita a segunda 84 dias AIT, a terceira 91 dias AIT, a quarta 98 dias AIT e a última 105 dias AIT. O período antes do início da coleta de amostras foi reservado à formação de biofilme nos filtros.

Nas tabelas 1, 2 e 3 são apresentados de forma resumida os principais parâmetros do afluente e efluente tratado pelos diferentes materiais suporte estudados.

Tabela 1. Caracterização do afluente

Parâmetros	Média	Máximo observado	Mínimo observado
Temperatura (°C)	21.63	25.00	19.00
pH	7.88	8.30	7.23
CE (µS/cm)	717.71	959.50	586.50
Turbidez (NTU)	247.04	534.00	44.70
ST (mg/L)	535.96	769.00	402.00
SST (mg/L)	130.92	192.33	72.00
SD (mg/L)	405.04	576.67	330.00
DBO (mg/L)	54.83	70.00	44.00

Tabela 2. Caracterização do efluente tratado no leito brita #01

Parâmetros	Média	Máximo observado	Mínimo observado
Temperatura (°C)	21.50	24.00	19.00
pH	7.92	8.13	7.67
CE (µS/cm)	601.33	702.00	442.50
Turbidez (NTU)	0.97	0.99	0.94
ST (mg/L)	444.50	501.67	325.33
SST (mg/L)	2.92	4.67	1.00
SD (mg/L)	441.58	497.00	324.33
DBO (mg/L)	41.00	44.00	35.00

Tabela 3. Caracterização do efluente tratado no leito brita #04

Parâmetros	Média	Máximo observado	Mínimo observado
Temperatura (°C)	21.50	24.33	18.67
pH	7.94	8.10	7.70
CE (µS/cm)	643.71	740.50	568.00
Turbidez (NTU)	2.38	3.84	1.44
ST (mg/L)	381.83	419.67	327.67
SST (mg/L)	3.00	4.00	1.67
SD (mg/L)	378.83	415.67	326.00
DBO (mg/L)	41.00	47.00	34.00

Observa-se, que houve uma tendência de redução nos valores médios de todos parâmetros analisados do efluente tratado em relação afluente, exceto os valores médios de pH, embora este se tenha mostrado ligeiramente semelhante entre o afluente e o efluente tratado para ambos leitos.

A comparação da qualidade do efluente tratado entre os diâmetros de materiais suporte estudados indica valores médios com tendência favorável ao leito brita #01 nos parâmetros pH, CE, turbidez e SST, sendo estes inferiores aos valores médios do efluente tratado em brita #04. Contudo, os resultados da análise estatística mostram que não existe diferença significativa entre os tratamentos considerados nos parâmetros pH, CE, ST, SD e DBO ($p < 0,05$). No entanto, constatou-se diferença estatística nos parâmetros SST e turbidez, sendo que a comparação das médias indica serem

semelhantes os tratamentos EFT #01 (T2) e EFT #04 (T3), e ambos diferentes do tratamento um (T1).

Pelos resultados expostos, observa-se que os valores médios de pH foram ligeiramente básicos tanto para o afluente assim como para o efluente tratado, pressupondo-se menores riscos de degradação dos equipamentos de irrigação por corrosão e/ou incrustações nas tubulações (SILVA et al., 2011). Com relação ao pH do efluente tratado observa-se que os valores médios se apresentam dentro da faixa considerada ideal para irrigação segundo o indicado pelos autores Ayers & Westcot (1985) e US EPA (2012), e, portanto, não mostram riscos quanto a sua utilização para irrigação; também se apresentam dentro da faixa considerada ideal pelos mesmos autores, os valores médios de condutividade elétrica, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos.

Com relação à DBO, embora tenha se observado uma redução do afluente para o efluente tratado, os valores médios mantiveram-se acima da faixa estabelecida para irrigação de culturas alimentares e não alimentares segundo EPA (2012) que recomenda valores de DBO não superiores a 30 mg L⁻¹ para irrigação de plantas consumidas cozidas e 10 mg L⁻¹ para plantas consumidas cruas. Os valores de DBO registrados foram inferiores aos observados por Baumgartner et al. (2007), tratando águas residuárias em lagoas de estabilização de dejetos suínos para irrigação da cultura da alface; estes por sua vez concluíram que os tratamentos estudados

(exemplo: irrigação com água de origem subterrânea e adubação suplementar e com água residuária originária de lagoa de estabilização de dejetos de suínos) não apresentaram diferenças significativas para as diferentes variáveis analisadas; corroborando em parte com os resultados registrados por Juchen et al. (2013), que também não observaram diferenças significativas no número de folhas de alface nos diferentes tratamentos estudados, contudo, a produção (ton.ha⁻¹) tenha sido maior no tratamento de irrigação com água residuária de frigorífico que apresentava DBO de 105 mg L⁻¹.

Tabela 4. Classificação do risco de obstrução dos gotejadores aplicando efluente tratado nos leitos brita #01 e brita #04.

Fatores de obstrução	Grau de restrição ao uso (Nakayama & Bucks, 1991)			Risco de obstrução do efluente tratado	
	Nenhum	Moderado	Severo	Brita #01	Brita #04
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0	moderado	moderado
CE	nd	nd	nd		
Turbidez	nd	nd	nd		
ST	nd	nd	nd		
SST	< 50	50 - 100	> 100	nenhum	nenhum
SD	< 500	500 - 2000	> 2000	nenhum	nenhum
DBO	nd	nd	nd		

nd – não definido por Nakayama & Bucks (1991)

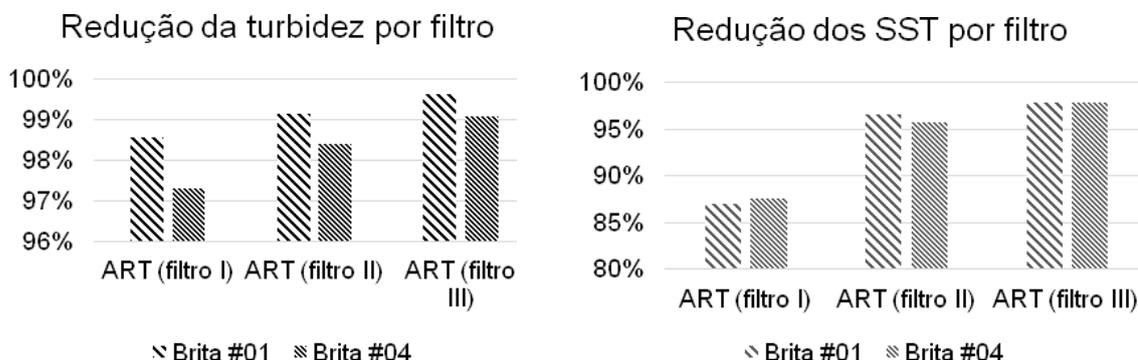
De acordo com a classificação proposta por Nakayama & Bucks (1991), a qualidade do efluente tratado nos parâmetros SST e SD indicam menor risco de entupimento de gotejadores; e para pH o risco é moderado para ambos materiais de suporte. Batista et al. (2013), obteve pH de 7,54 e sólidos suspensos de 333 mg L⁻¹ em efluente da suinicultura tratada em processos de sedimentação, degradação anaeróbica e filtração; contudo, estes obtiveram coeficientes de uniformidade de distribuição superiores a 90% para emissores com características de vazão e diâmetro do orifício diferentes após 160

horas de aplicação em irrigação por gotejamento, que segundo Merriam & Keller (1978) o desempenho do sistema de irrigação quanto a uniformidade de distribuição da água é classificado como excelente. Enquanto que, Cunha et al. (2017) operando sistema de irrigação por gotejamento aplicando efluente de laticínio concluiu que os atributos sólidos suspensos e pH foram os principais agentes de obstrução dos emissores, após ter observado em 200 horas de aplicação valores de sólidos SST e pH de 393 mg L⁻¹ e 7,67; indicados como de risco severo e moderado respectivamente.

O sistema de tratamento de água exibiu redução de aproximadamente 100% e 98% da turbidez e sólidos suspensos totais respectivamente; para ambos os parâmetros. Não se observou reduções significantes entre os filtros do mesmo leito ao longo do período analisado, contudo esta foi mais expressiva para SST (Figura 3). Souza et al. (2015) avaliando a eficiência

individual de diferentes unidades de tratamento de esgoto observou redução de turbidez na ordem de 80,88% (caixa de gordura e tanque séptico); 36,35% (filtro anaeróbico de um estágio) e 65,34% (wetland), e na combinação destas unidades, incluindo tanque de microalgas obteve redução de 95%.

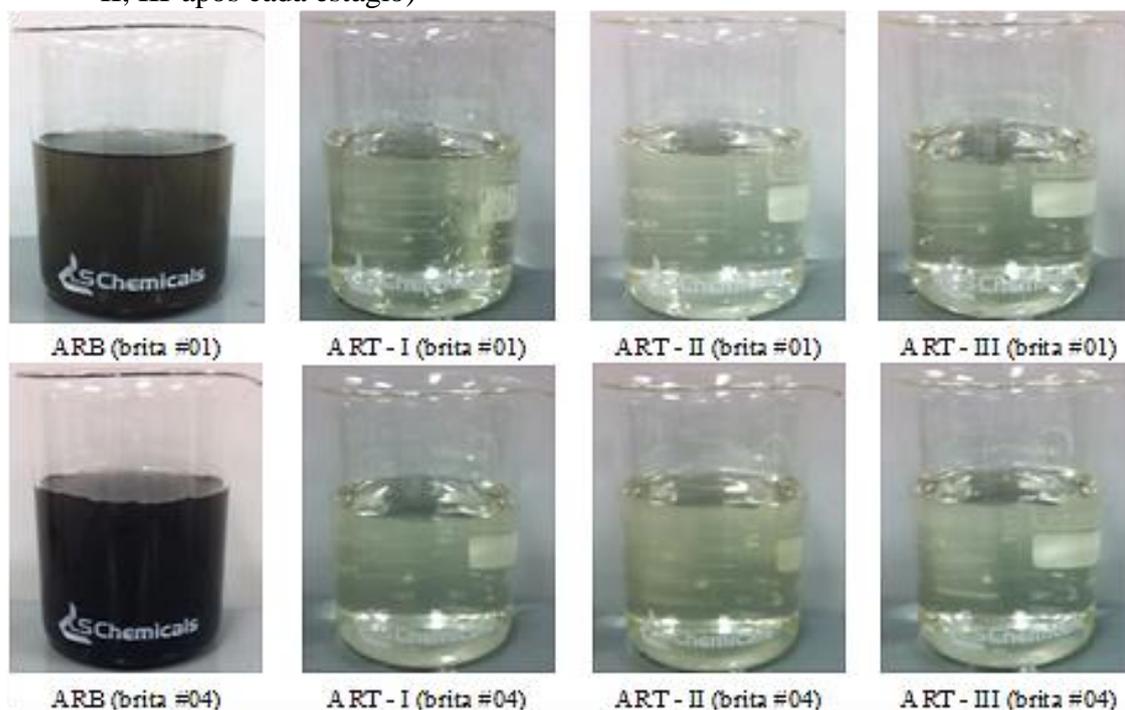
Figura 3. Gráficos da relação de redução da turbidez e SST nos diferentes estágios/filtros de tratamento.



Na figura 4, se observa de forma clara e evidente o quanto a turbidez da água reduz logo após o primeiro filtro de tratamento para ambos os materiais de suporte, pressupondo-se que apenas um

filtro com as características aqui apresentadas é suficiente para reduzir significativamente a turbidez e/ou outros parâmetros a si relacionados.

Figura 4. Mudanças da turbidez. (ARB-água residuária bruta; ART- água residuária tratada; I, II, III-após cada estágio)



Observou-se redução também na condutividade elétrica (16,21% e 10,31% para brita #01 e brita #04 respectivamente) e DBO de 25,23% (Tabela 5) para ambos os materiais suporte, sendo que a redução da

DBO se encontra abaixo da faixa provável de remoção de poluentes prevista na NBR 13.969/1997 (Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas) para filtros anaeróbios.

Tabela 5. Valores médios de redução (%) dos principais poluentes no sistema de tratamento, relação entre afluente (entrada) e efluente tratado (último filtro do leito).

Parâmetros	Brita #01			Brita #04	
	Entrada	Saída	Eficiência (%)	Saída	Eficiência (%)
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	717.71	601.33	16.21%	643.71	10.31%
Turbidez (NTU)	247.04	0.97	99.61%	2.38	99.04%
ST (mg/L)	535.96	444.50	17.06%	381.83	28.76%
SST (mg/L)	130.92	2.92	97.77%	3.00	97.71%
DBO (mg/L)	54.83	41.00	25.23%	41.00	25.23%

Colares & Sandri (2013) projetaram uma estação de tratamento de esgoto composto por um conjunto de tanques sépticos dispostos em série (tratamento primário), cujo efluente era direcionado para três leitos cultivados com diferentes meios suporte (cascalho natural, brita #02 e

cascalho lavado) dispostos em paralelo; estes obtiveram uma redução de 65,40% para DQO; 79,01% para DBO; 59,79% para ST; 87,12% para SST e 82,54% para turbidez.

6 CONCLUSÕES

1. Observou-se que os valores médios dos principais parâmetros analisados se situaram dentro da faixa dos padrões de qualidade requerido para aplicação de efluentes tratados na irrigação de culturas agrícolas, excepto a DBO.
2. Baseado nas principais observações constatadas pode-se dizer que o sistema de tratamento de água apresentou um desempenho satisfatório.
3. Presume-se a ocorrência de risco moderado de obstrução dos gotejadores apenas para parâmetro pH, segundo a tabela proposta por Nakayama & Bucks (1991).
4. Não tendo se observado diferenças significativas na qualidade do efluente tratado pelos materiais suporte estudados, pode-se recomendar ambos para o tratamento de água residuária para aplicação em irrigação por gotejamento. Contudo, o leito com material de suporte brita #01 apresentou maior redução dos principais poluentes observados no afluente estudado e consequente melhor qualidade, exceto no parâmetro sólidos totais; podendo ser considerado como indicação preferencial.
5. A baixa redução da DBO poderá estar associada ao fato de o afluente aqui considerado ser água residuária tratada na Estação de Tratamento de Esgotos de Botucatu, apresentado por isso baixa carga orgânica. Contudo para melhoria deste parâmetro, pode-se propor um novo estudo considerando aumento de filtros por leito ou uso de material suporte de diâmetro inferior.

7 AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são endereçados ao Ministério da Ciência e Tecnologia Ensino Superior Técnico Profissional (MCTESTP – Moçambique) pela concessão da bolsa de estudos, e Universidade de Lúrio (FCA – UniLúrio) pela confiança.

8 REFERÊNCIAS

APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination for water and wastewater. 21. ed. Washington, Dc: APHA-AWWA-WEF, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D. W. **Water quality of agriculture**. 29. ed. Roma: FAO, 1994. (Irrigation and Drainage Paper).

BATISTA, R. O; OLIVEIRA, R. A; SANTOS, D. B; OLIVEIRA, A. F. M; AZEVEDO, C. A. V; MEDEIROS, S. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.7, p.698-705, 2013.

- BATISTA, R. O; SOUZA, J. A. R; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p.018-022, jan/fev, 2010.
- BAUMGARTNER, D; SAMPAIO; S. C; SILVA, T. R; TEO, C. R. P. A; BOAS, M. A. V. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface, **Engenharia Agrícola.**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.152-163, jan./abr. 2007.
- CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J. Analysis of Clogging in Drip Emitters During Wastewater Irrigation. **Applied Engineering In Agriculture**, [s.l.], v. 22, n. 2, p.251-257, 2006.
- CAVALHEIRO, F; SOUSA, M. A. L. Planejamento paisagístico do Campus Universitário da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, SP. **Acta Botanica Basílica**, I(2): 155 – 163, 1988.
- CHEN, F; LIU, C. Effects of Reclaimed Water on the Growth and Fruit Quality of Cucumber. **Irrigation and Drainage**, New Dehli, v. 64, n.3, p.370-377, 13 mar. 2015.
- COLARES, C. J. G; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n.1, 2013.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D.; RICARTE, R. M. Atualização da classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14. 2006, Florianópolis. Anais.... Florianópolis: CBMET, 2006.
- CUNHA, M. E; MARQUES, B. C. D; BATISTA, R. O; COSTA, A. G; CUNHA, R. R; ANDRADE, A. T. S. Obstrução de gotejadores operando com efluente de laticínios diluído. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, n.4, p. 1517-1527, 2017.
- DUARTE, A. S; AIROLDI, R. P. S; FOLEGATTI, M. V; BOTREL, T. A; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinha Grande, v.12, n.3, p.302–310, 2008.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Guidelines for Water Reuse**. EPA/600/R-12/618, Washington, DC, September, 2012.
- HARUVY, N. **Reuse of wastewater in agriculture economic assessment of treatment and supply alternatives as affecting aquifer pollution**. Israel: Netanya Academic College, 2006. p.257-262.
- JUCHEN, C. R; SUSZEK, F. L; VILAS BOAS, M. A. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigado com águas residuárias agroindustriais. **Irriga**, Botucatu, v.18, n.1, p.243-256, abr./jun., 2013.

KELLER, J; BLIESNER, R. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, p.673.

MANARIOTIS, I. D; GRIGOROPOULOS, S. G. Restart of anaerobic filters treating low-strength wastewater. **Elsevier: Bioresource-technology**, Pratas, p. 3579-3589. set. 2007.

MANARIOTIS, I. D; GRIGOROPOULOS, S. G. Municipal-Wastewater Treatment Using Upflow-Anaerobic Filters. **Water Environment Research**, Oxford, v.78, n.3, p.233-242, 1 mar., 2006.

MARTIJN, E; REDWOOD, M. Wastewater irrigation in developing countries—limitations for farmers to adopt appropriate practices. **Irrigation and Drainage**, New Delhi, v. 54, n.1, p.63-70, 2005.

MERRIAM, J.L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. 3ed. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

NAJAFI, P.; TABATABAEI, S. H.; ASGARI, K. Evaluation of filtration and SDI application effects on treated wastewater quality index. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 5(11), p.1250-1255, 4 June, 2010.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**. Berlin, p.187-192, mar. 1991.

OMS – Organização Mundial de Saúde. **Wastewater Use in Agriculture**. Genebra: World Health Organization. 2006. (Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater). Disponível em <
http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wwuvol2intro.pdf> acessado em 09 Abr. 2017.

PUIG-BARGUÉS, J; ARBAT, G; ELBANA, M; DURAN-ROS, M; BARRAGÁN; CARTAGENA, F. R; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **Agricultural Water Management**, v.97, p.883–891, 2010.

SCOTT, C. A; ZARAZUA, J. A; LEVINE, G. **Urban-Wastewater Reuse for Crop Production in the Water-Short Guanajuato River Basin, Mexico**. 41. ed. Sri Lanka: Colombo, International Water Management Institute, 2000. 41 p.

SILVA, I. N; FONTES, L. O; TAVELLA, L. B; OLIVEIRA, J. B; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de água na irrigação. **ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v.07, n. 03, jul./set., 2011 p.01-15.

SILVA, L. P; SILVA, M. M; CORREA, M. M; SOUZA, F. C. D; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p.480–486, 2012.

SOUZA, C. F; BASTOS, R. G; GOMES, M. P. M; PULSCHEN, A. A. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, vol. 10, n.3, Jul./Sep, 2015.

WANG, Z; LI, J; LI, Y. Using Reclaimed Water for Agricultural and Landscape Irrigation in China: A Review. **Irrigation and Drainage**, New Delhi, p.1-15, 2017.