



EFEITO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA ARTIFICIAL NA DESINFECÇÃO DE MICRORGANISMOS EM LÂMINAS DE ESGOTO DOMÉSTICO

Rafael Oliveira Batista¹, Eduardo Bruno da Silva Santos², Jean Berg Alves da Silva³,
Monalisa Soares Costa⁴, Delfran Batista dos Santos⁵

1. Professor da Especialização em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido pelo Instituto Federal Baiano (IF-Baiano), *Campus* Senhor do Bonfim, Bahia, Brasil (eng.batista@gmail.com)
2. Graduado em Engenharia Agrícola e Ambiental, pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte.
3. Médico Veterinário. Doutor em Ciências Veterinárias, Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte.
4. Graduanda em Agronomia, pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte.
5. Engenheiro Agrônomo, Doutor em Recursos Hídricos e Ambientais, Professor do IF-Baiano, Senhor do Bonfim, BA, Brasil

Recebido em: 01/09/2013 – Aprovado em: 30/10/2013 – Publicado em: 18/11/2013

RESUMO

O tratamento de esgoto doméstico é uma das ações do saneamento de grande importância para a qualidade de vida das populações. O aproveitamento agrícola de esgotos domésticos tratados é uma alternativa para as regiões semiáridas. Esse trabalho objetivou analisar o efeito da radiação ultravioleta artificial na desinfecção de microrganismos em lâminas de esgoto doméstico primário, visando o uso do efluente na agricultura. No período de agosto a setembro de 2011, um reator com lâmpadas ultravioletas de 30 W foi implantado na miniestação de tratamento de esgoto doméstico da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN. Ao longo do período experimental foram coletadas amostras de efluentes para caracterização físico-química e microbiológica. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições e cinco lâminas de esgoto doméstico primário (5, 10, 15, 20 e 25 cm). Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de médias e análise de regressão. Os resultados indicaram que houve redução significativa do nível populacional de coliformes totais e fecais nas distintas lâminas de esgoto doméstico primário sob exposição à radiação ultravioleta germicida; e a lâmina de 5 cm de esgoto doméstico foi a mais eficiente na inativação dos coliformes totais e fecais presentes no esgoto doméstico primário.

PALAVRAS-CHAVE: saneamento ambiental, microbiologia, desinfecção, reuso de água.

EFFECT OF ULTRAVIOLETA ARTIFICIAL RADIATION ON DISINFECTION OF MICROORGANISMS IN DOMESTIC SEWAGE DEPTHS

ABSTRACT

The domestic wastewater treatment is one of the actions sanitation of great importance to the quality of life of populations. The agricultural use of treated wastewater is an alternative to semi-arid regions. This study aimed to analyze the effect of artificial ultraviolet radiation for disinfection of microorganisms in sewage primary depths, aiming at the use of wastewater in agriculture. In the period from August to September 2011, a reactor with UV lamps of 30 W was implanted on treatment sewage system of Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) in Mossoró-RN. Along the experimental period were collected effluent samples for physico-chemical and microbiological analysis. The experimental was mounted in completely randomized design with three replications and five primary wastewater depths (5, 10, 15, 20 and 25 cm). The data were subjected to analysis of variance test and a regression analysis. The results indicated that there was significant reduction in the population level of total and fecal coliforms in the different layers of primary sewage under exposure to ultraviolet germicidal, and the blade 5 cm of sewage was the most effective in the inactivation of total and fecal coliforms present in primary domestic sewage.

KEYWORDS: environmental sanitation, microbiology, disinfection, water reuse.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico atualmente é dividido em cinco ações estratégicas: a) abastecimento de água, b) esgotamento sanitário, c) drenagem pluvial, d) controle de vetores e d) tratamento e destinação dos resíduos sólidos. O principal objetivo do saneamento é a promoção da saúde e a melhoria da qualidade de vida das populações, bem como a preservação do ambiente (BRASIL, 2007).

O esgoto e a sua destinação inadequada constituem um grande problema enfrentado pela sociedade atualmente, tanto do ponto de vista da saúde quanto da questão ambiental. A disposição de águas residuárias de forma inadequada no solo pode contaminar o ar, o solo, as plantas, as águas superficiais e subterrâneas quando não existem estratégias de manejo agrícola que reduzam potencialmente esses riscos (BRASIL, 2009).

Fatores relacionados às atividades antrópicas podem causar impactos significativos ao ambiente, ameaçando a qualidade dos recursos naturais e, consequentemente, a saúde dos homens. Os problemas de saúde podem ganhar maiores proporções nas áreas rurais, uma vez que os serviços públicos de abastecimento de água com qualidade assegurada, a destinação adequada dos resíduos sólidos e a coleta e transporte dos esgotos para estações de tratamento são praticamente inexistentes (BRASIL, 2009).

A destinação inadequada das águas residuárias domésticas acarretam alterações e desequilíbrio ao meio ambiente e a saúde humana. Em virtude desses impasses a busca por soluções e técnicas que minimizem seus diversos impactos vem surgindo com um grande desafio enfrentado pela sociedade em geral,

principalmente pelas populações que vivem em áreas rurais. Estes locais, por não possuírem em sua grande maioria uma infraestrutura de esgotamento sanitário eficiente, despejam seus esgotos diretamente nos rios, lagos, mares ou mesmo no solo localizado nas proximidades de suas moradias. Segundo o IBGE (2010) o lançamento indiscriminado de esgotos domésticos em corpos hídricos representa uma das principais causas da poluição hídrica no Brasil.

Para superar este quadro, os investimentos necessários são muito grandes, e, frequentemente não estão disponíveis. Buscando promover o tratamento dos esgotos domésticos para as populações rurais e urbanas, algumas técnicas, alternativas e de baixo custo, estão sendo desenvolvidas. Dentre esses projetos alternativos, pode-se citar o uso de radiação ultravioleta no combate aos microrganismos patogênicos tais como bactérias e protozoários presentes nos esgotos domésticos (BRASIL, 2009).

Os microrganismos patogênicos geralmente presentes nos esgotos domésticos são vulneráveis à radiação ultravioleta (BRYANT et al., 1992). Sendo assim, o uso de radiação ultravioleta constitui-se de uma alternativa viável e bastante eficiente para o tratamento de esgotos domésticos.

Os mecanismos de ação da radiação ultravioleta (UV) sobre os microrganismos são diferentes daqueles dos agentes desinfetantes químicos. O mecanismo predominante é, supostamente, o da alteração do DNA das células, tornando o organismo incapaz de reproduzir-se. Desta forma, o organismo é inativado com relação a sua capacidade de proliferação e transmissão da doença (BRYANT et al., 1992).

A radiação ultravioleta é capaz de inativar bactérias e vírus patogênicos, porém não se mostra adequada à inativação de protozoários, cistos de protozoários e ovos de nematóides (REIFF & WITT, 1995). Para efetiva inativação desses microrganismos a intensidade da radiação e, ou o tempo de detenção deve ser aumentado.

A desinfecção por meio da radiação ultravioleta (UV) é um processo, pelo qual nenhum tipo de substância é adicionado ao esgoto a ser tratado. Não deixa quaisquer substâncias tóxicas no esgoto tratado, tornando-se uma prática bem mais segura que as demais.

Diante do exposto, é de fundamental importância o estudo de técnicas que possibilitem o tratamento terciário dos esgotos domésticos com radiação ultravioleta artificial, visando à inativação de microrganismos patogênicos com rapidez, eficácia e baixo custo, se configurando em uma tecnologia sustentável para o saneamento básico.

O presente trabalho teve por objetivo analisar o efeito da radiação ultravioleta proveniente de lâmpadas na inativação de coliformes totais e termotolerantes em diferentes lâminas de esgoto doméstico primário.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na miniestação de tratamento de esgoto doméstico situada no Parque Zoológico da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). No local existe uma residência ocupada por oito pessoas e que gera no máximo 800 L por dia de esgoto doméstico. A Figura 1 apresenta a ilustração da unidade de tratamento do esgoto doméstico.

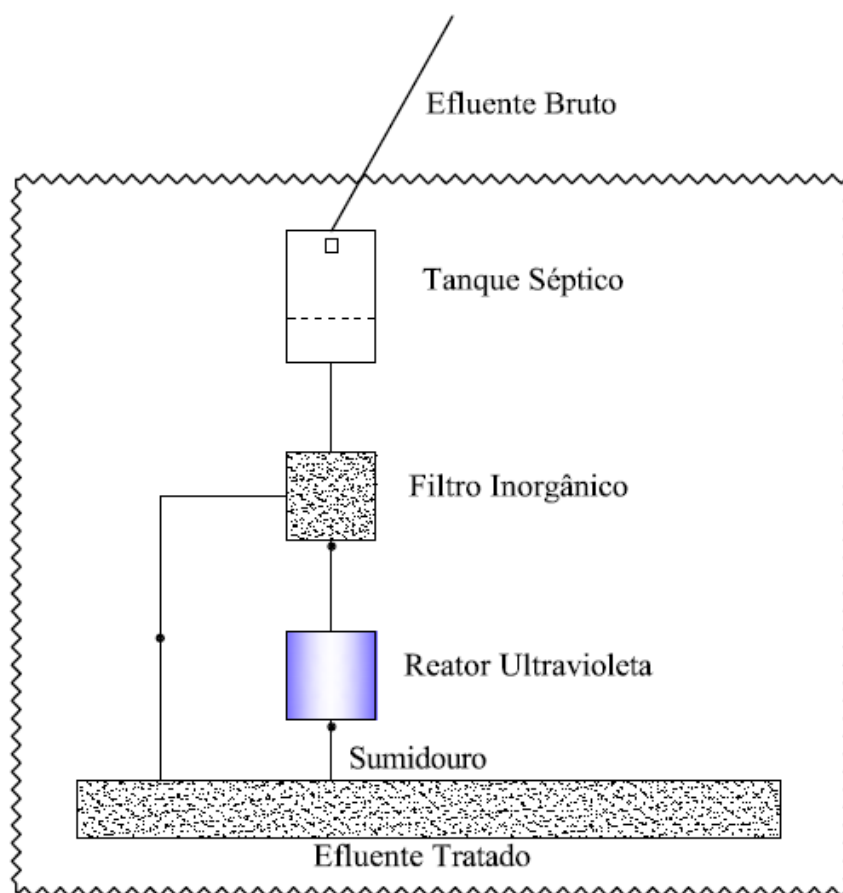


FIGURA 1. Ilustração da unidade de tratamento de esgoto doméstico implantado no parque Zoobotânico da UFRSA, em Mossoró-RN.

Fonte: Arquivo do pesquisador (2013).

Tanque séptico: este dispositivo de tratamento realiza o tratamento preliminar e primário do esgoto doméstico. Foi construído em alvenaria de tijolos em forma de prisma com duas câmaras conforme as recomendações da ABNT (1993). O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi de 24 horas e o intervalo de limpeza do lodo de quatro anos. As dimensões estabelecidas para o tanque séptico foram de 1,50 m de largura por 2,40 m de comprimento por 1,60 m de profundidade.

Filtro inorgânico de fluxo ascendente: tal dispositivo submete o esgoto doméstico ao tratamento primário. Este foi construído em alvenaria no formato prismático segundo as recomendações de MATOS (2007). O filtro apresenta um fundo falso com 0,40 m de profundidade, preenchido internamente com camada de brita 1 de 0,80 m. Esse filtro possui lado de 1,40 m e 1,60 m profundidade.

Reator com radiação ultravioleta: O reator foi construído em alvenaria de tijolos nas dimensões de 1,08 m de largura por 1,18 m de comprimento e 0,40 m de profundidade, recebendo impermeabilização interna, conforme as recomendações de SANCHES-ROMAN et al. (2007). No seu interior existe uma régua graduada de 0,40 m, que auxiliará a manter uma lâmina de esgoto doméstico de 0,10 m para exposição à radiação ultravioleta artificial. Para a aplicação da radiação ultravioleta artificial, duas lâmpadas de radiação ultravioleta (UVC) de 30 watts, cada uma, foi instalada em um aparato de madeira para proporcionar a desinfecção do efluente (Figura 2). No reator foram utilizadas duas lâmpadas UV com potência de 30 W cada

uma e vida útil prevista para 8.000 h do modelo G13/TUV30W da PHILIPS. As lâmpadas UV trabalham com vapor de mercúrio de baixa pressão emitindo comprimentos de onda curtas com pico de radiação de 253,7 nm (UVC) para ação germicida.

Sumidouro: Essa parte foi constituída com tubo de PVC de 100 mm e brita 1. Para tal, foi escavada uma vala em formato prismático com 1,0 m de largura por 8,0 m de comprimento por 0,50 m de profundidade.

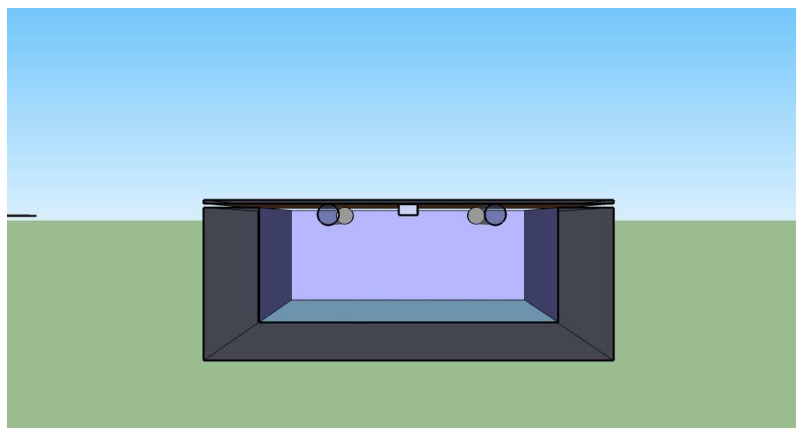


FIGURA 2. Corte transversal do reator (detalhe das lâmpadas UV germicida).

Fonte: Arquivo do pesquisador (2013).

O monitoramento do sistema foi realizado no período de 18 de agosto a 30 de setembro de 2011. Para tal, o reator foi preparado com distintas lâminas de esgoto doméstico primário, com a seguinte disposição:

Tratamento 1: amostra de esgoto doméstico, após 20 minutos de exposição à radiação ultravioleta artificial, coletada em reator com lâmina de 5 centímetros;

Tratamento 2: amostra de esgoto doméstico, após 20 minutos de exposição à radiação ultravioleta artificial, coletada em reator com lâmina de 10 centímetros;

Tratamento 3: amostra de esgoto doméstico, após 20 minutos de exposição à radiação ultravioleta artificial, coletada em reator com lâmina de 15 centímetros;

Tratamento 4: amostra de esgoto doméstico, após 20 minutos de exposição à radiação ultravioleta artificial, coletada em reator com lâmina de 20 centímetros;

Tratamento 5: amostra de esgoto doméstico, após 20 minutos de exposição à radiação ultravioleta artificial, coletada em reator com lâmina de 25 centímetros; e

Tratamento 6: amostra de esgoto doméstico sem exposição à radiação ultravioleta artificial.

No preparo do reator foi feita a renovação do esgoto doméstico para cada lâmina ensaiada. Parte das amostras coletadas foi encaminhada para o Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal (UFERSA), visando à identificação e quantificação de coliformes totais e termotolerantes. A outra parte das amostras foi encaminhada ao Setor de Solos da UFERSA para determinação de turbidez, condutividade elétrica, pH, sódio, cálcio, magnésio, potássio, cloreto, carbonato, bicarbonato, dureza e metais como ferro, manganês, cobre e chumbo.

Deve-se ressaltar que as amostras coletadas foram acondicionadas em caixa isotérmica com gelo, à temperatura de 4°C, para preservação.

Foi feita a medição da vazão de esgoto doméstico gerada na residência no mês de setembro de 2011 (segunda-feira, terça-feira, quarta-feira, quinta-feira, sexta-feira, sábado e domingo) pelo método gravimétrico.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com seis tratamentos (T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 e T_6) e três repetições. Os dados de coliformes termotolerantes e totais foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F à 5% de probabilidade. As médias foram comparadas por meio do teste Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa computacional SAEG 9.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios e desvio-padrão das características físico-químicas e microbiológicas do esgoto doméstico primário antes da exposição à radiação ultravioleta germicida (EDP), bem como o risco de entupimento de gotejadores.

TABELA 1. Valores médios e desvio-padrão das características físico-químicas e microbiológicas do esgoto doméstico sem exposição à radiação ultravioleta (EDP), bem como o risco de entupimento de gotejadores.

Características	EDP	Risco de entupimento de gotejadores	
		Nakayama e Bucks (1991)	Capra e Scicolone (1998)
Temp* (°C)	25,6±0,55		
pH*	7,24±0,06	Moderado	
CE* (dS m ⁻¹)	1,42±0,05		
TB* (UNT)	51,00±14,90		
Na ⁺ * (mmol _c L ⁻¹)	8,79±0,52		
Ca ²⁺ * (mmol _c L ⁻¹)	1,75±0,13		Baixo
Mg ²⁺ * (mmol _c L ⁻¹)	1,23±0,11		Baixo
RAS* (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	7,23±0,54		
Cl ⁻ * (mmol _c L ⁻¹)	0,15±0,02		
K* (mg L ⁻¹)	0,95±0,06		
HCO ₃ ⁻ * (mmol _c L ⁻¹)	0,16±0,03		
Fe* (mg L ⁻¹)	0,85±0,07	Moderado	
Mn* (mg L ⁻¹)	0,42±0,02	Moderado	
Cu* (mg L ⁻¹)	0,004±0,002		
Zn* (mg L ⁻¹)	0,08±0,01		
CT** (NMP mL ⁻¹)	1,4x10 ⁵ ±1,19	Severo	

Nota: Temp = temperatura do esgoto doméstico primário; CE = condutividade elétrica; TB = turbidez; UNT = unidade nefelométrica de turbidez; Na = sódio; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; RAS = razão de adsorção de sódio; Cl⁻ = cloreto; K = potássio; HCO₃⁻ = bicarbonatos; Fe = ferro total; Mn = manganês total; Cu = cobre; Zn = zinco; CT = coliformes totais; e NMP = número mais provável por mililitro. * Média aritmética e desvio-padrão das características. ** Média geométrica e desvio-padrão da característica.

A temperatura média do esgoto primário (Temp) encontra-se dentro da faixa de 20 a 30 °C, estabelecida por CABELLO (1990) como ótima para o desenvolvimento de bactérias. Verificou-se, ainda, que os valores de temperatura são inferiores ao limite de 40 °C estabelecido pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005) que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos receptores e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

O valor médio de pH encontra-se dentro da faixa de 7,3 a 7,4 obtida por GUO et al. (2009) em estudos com esgoto doméstico terciário. De acordo com a classificação proposta por NAKAYAMA & BUCKS (1991), o pH do esgoto doméstico primário encontra-se dentro da faixa de 7,0 a 7,5, representando risco moderado de entupimento de gotejadores. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), o valor médio de pH encontra-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecida para lançamento de esgoto doméstico tratado.

A condutividade elétrica (CE) média do esgoto doméstico primário foi menor que o limite de 3,0 dS m⁻¹ estabelecido na Portaria nº 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002) para fertirrigação de cultivos agrícolas com esgotos domésticos tratados. Tal valor médio foi superior ao de 1,25 dS m⁻¹ apresentado no trabalho de HALLMICH & GEHR (2010) com esgoto doméstico de sistema de lodo ativado.

O valor médio da turbidez (TB) do esgoto doméstico primário foi maior que 14,6 UNT medido em esgoto doméstico de sistema de lodo ativado por HALLMICH & GEHR (2010). Tal valor médio é menor que 57,07 UNT obtido por MOURA et al. (2011) em estudo com esgoto doméstico primário.

A concentração média de sódio (Na⁺) foi superior à 1,93 mmol_c L⁻¹ obtida por BATISTA et al. (2006) em experimento com esgoto doméstico terciário. Segundo AYERS & WESTCOT (1999), concentrações de sódio superior a 3,0 e 9,0 mmol_c L⁻¹ fornecidas via irrigação por aspersão e superfície, respectivamente, podem reduzir o desenvolvimento e a produção de cultivos agrícolas sensíveis.

O valor médio do cálcio (Ca²⁺) foi maior que 0,37 mmol_c L⁻¹ obtido por BATISTA et al. (2006) em experimento com esgoto doméstico terciário. De acordo com CAPRA & SCICOLONE (1998), o valor médio é inferior a 12,5 mmol_c L⁻¹ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo.

A concentração média do magnésio (Mg²⁺) foi maior que 0,87 mmol_c L⁻¹ obtida por BATISTA et al. (2006) com esgoto doméstico terciário. O valor médio do magnésio é inferior ao limite de 2,05 mmol_c L⁻¹ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo (CAPRA & SCICOLONE, 1998).

A razão de adsorção de sódio (RAS) foi maior que o valor de 2,54 (mmol_c L⁻¹)^{0,5} apresentado por BATISTA et al. (2006) em estudo com esgoto doméstico terciário. Analisando de forma conjunta as características CE, RAS, Ca²⁺ e Mg²⁺, verifica-se que o esgoto doméstico primário representa risco ligeiro a moderado para a infiltração de efluente no solo, devido a dispersão das argilas que causa selamento do espaço poroso.

A concentração média do cloreto (Cl⁻) foi menor que 3,0 mmol_c L⁻¹ não representando risco de toxicidade aos cultivos agrícolas, conforme sugerido por AYERS & WESTCOT (1999). A toxicidade do cloreto aos cultivos agrícola está associada à não retenção e adsorção pelas partículas do solo, facilitando o seu deslocamento com água do solo, porém é absorvido pelas raízes e translocando às folhas, onde se acumula pela transpiração; e se sua concentração excede a tolerância da planta, produzem-se danos como necroses e queimaduras nas folhas (AYERS & WESTCOT, 1999).

O valor médio de bicarbonato (HCO₃⁻) foi menor que o limite de 1,5 mmol_c L⁻¹ não representando risco para cultivos agrícolas fertirrigados via aspersão, conforme relatado por AYERS & WESTCOT (1999). As águas residuárias contendo elevadas concentrações de bicarbonatos e aplicadas via aspersão podem causar problemas de incrustações em forma de depósitos brancos sobre as folhas, frutos e flores, depreciando o produto agrícola (AYERS & WESTCOT, 1999).

A concentração média de potássio (K^+) foi menor que $12,20 \text{ mg L}^{-1}$ obtida por SANTOS et al. (2006) em estudos com esgoto doméstico terciário. A fertirrigação com esgoto doméstico é muito vantajosa tanto ambientalmente quanto economicamente, pois possibilita redução no uso de adubos químicos, devido ao aporte de potássio e outros nutrientes.

O valor médio do ferro total (Fe) foi menor que $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, não representando risco de inibir a absorção do fósforo e molibdênio pelas plantas (AYERS & WESTCOT, 1999). Segundo NAKAYAMA & BUCKS (1991), o ferro total do esgoto doméstico primário encontra-se dentro da faixa de 0,2 a 1,5, representando risco moderado de entupimento de gotejadores.

A concentração média de manganês foi maior que $0,20 \text{ mg L}^{-1}$, podendo contribuir para toxicidade de cultivos agrícolas explorados em solos ácidos. De acordo com NAKAYAMA & BUCKS (1991), o manganês total do esgoto doméstico primário encontra-se dentro da faixa de 0,1 a 1,5, representando risco moderado de entupimento de gotejadores.

O valor médio do cobre (Cu) foi menor que $0,20 \text{ mg L}^{-1}$, não sendo tóxico para plantas em soluções nutritivas. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), o valor médio de cobre é inferior ao limite de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido para lançamento de esgoto doméstico tratado.

A concentração média do zinco foi menor que $2,0 \text{ mg L}^{-1}$, não representando toxicidade para plantas em solos com pH superior a 6,0 e com textura fina. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), o valor médio de zinco é inferior ao limite de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido para lançamento de esgoto doméstico tratado.

O nível populacional médio dos coliformes totais foi menor que $6,24 \times 10^6 \text{ NMP mL}^{-1}$ obtido por MOURA et al. (2011) em esgoto doméstico primário. Tal valor médio é superior ao limite de $5 \times 10^4 \text{ NMP mL}^{-1}$ estabelecido por NAKAYAMA & BUCKS (1991), que classifica o risco de entupimento de gotejadores como severo.

Na Tabela 2 consta o resumo da análise de variância dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e fecais (CF) presentes em reator ultravioleta operando com distintas lâminas de esgoto doméstico.

TABELA 2. Resumo da análise de variância dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e fecais (CF) presentes em esgoto doméstico de reator ultravioleta operando com distintas lâminas de esgoto doméstico.

Fontes de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio	
		CT	CF
Tratamento	4	9,241**	8,799**
Resíduo	10	0,0074	0,0046
CV (%)		1,7	1,7

** Significativo à 1% de probabilidade pelo teste F. CV = coeficiente de variação.

Constatou-se para as variáveis coliformes totais (CT) e coliformes fecais (CF) que houve diferença estatística entre lâminas de esgoto doméstico expostas à radiação ultravioleta artificial pelo teste F à 1% de probabilidade.

Os valores dos coeficientes de variação são ambos de 1,7%, indicando alta precisão dos dados obtidos durante o período experimental (GOMES, 2000).

Na Tabela 3 constam as médias dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e fecais (CF) presentes em esgoto doméstico de reator ultravioleta operando com distintas lâminas de esgoto doméstico.

TABELA 3. Médias dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e fecais (CF) presentes em esgoto doméstico de reator ultravioleta operando com distintas lâminas de esgoto doméstico.

Lâminas de efluente	Log ₁₀ CT	Log ₁₀ CF
25 cm	7,162 a	6,089 a
20 cm	6,149 b	5,108 b
15 cm	5,175 c	4,101 c
10 cm	4,131 d	3,561 d
5 cm	2,643 e	1,556 e

*Médias seguidas da mesma letra entre as linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CT e CF expresso em número mais provável por 100 mL.

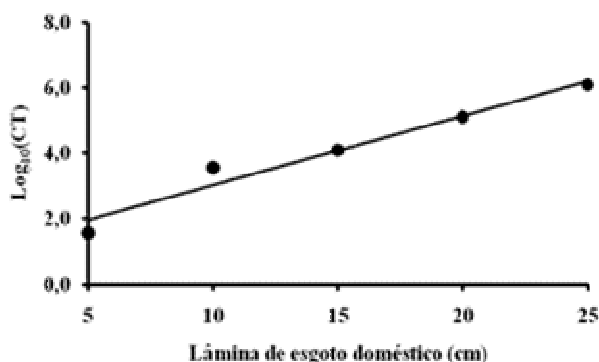
Verifica-se que as médias tanto de coliformes totais (CT) quanto de coliformes fecais (CF) diferem estatisticamente em todas as lâminas de esgoto doméstico expostas à radiação ultravioleta, pelo teste de tukey à 5% de probabilidade. Houve redução de cinco unidades logarítmicas no nível populacional tanto de coliformes totais quanto de coliformes fecais quando se estabelece comparação entre as lâminas de esgoto doméstico de 5 e 25 cm. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por NADDEO et al. (2009) que obtiveram redução de cinco unidades logarítmicas nos níveis populacionais de coliformes totais e fecais presentes no esgoto doméstico de lodo ativado com um reator dotado de duas lâmpadas ultravioletas com potência de 150 W cada uma e tempo de exposição de 30 minutos.

Segundo a Portaria nº 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002), o nível populacional de coliformes fecais do esgoto doméstico submetido à exposição à radiação ultravioleta artificial sob lâmina de 5 cm permite a fertirrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus.

Estabelecendo uma comparação entre os níveis populacionais de coliformes totais das lâminas de esgoto doméstico de 5 a 25 cm, com o esgoto sem a exposição a radiação UV, observa-se redução $1,4 \times 10^5$ para $4,4 \times 10^2$ NMP mL⁻¹, ou seja, o risco de entupimento passou de severo para baixo conforme a classificação proposta por NAKAYAMA & BUCKS (1991).

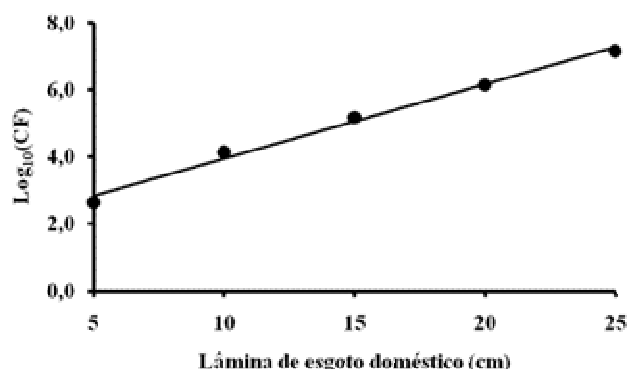
Na Figuras 3 estão apresentadas as relações da redução no nível populacional de coliformes totais (CT) e fecais (CF) respectivamente, em função das lâminas de esgoto doméstico submetidas à radiação ultravioleta artificial (L) e respectivo modelo de regressão.

Houve efeito linear da lâmina de esgoto doméstico submetida à radiação ultravioleta artificial na redução do nível populacional de coliformes totais (CT) e fecais (CF). As equações de regressão ajustadas para coliformes totais (CT) e fecais (CF) apresentaram coeficientes de determinação (R^2) de 0,99 e 0,96, respectivamente. Tais resultados foram semelhantes aos obtidos por NADDEO et al. (2009) com esgoto doméstico de lodo ativado. Os referidos autores obtiveram equações lineares relacionando a eficiência de desinfecção de coliformes fecais com o tempo de exposição à radiação ultravioleta artificial e R^2 de 0,98.



$$\bar{CT} = 1,7351 + 0,2211 ** L \quad R^2 = 0,99$$

(a)



$$\bar{CF} = 0,8990 + 0,2123 ** L \quad R^2 = 0,96$$

(b)

** Significativo à 1% de probabilidade pelo teste "t".

FIGURA 3. Relação da redução no nível populacional de coliformes totais-CT (a) e termotolerantes-CF (b) em função da lâmina de efluente em reator ultravioleta artificial (L) e respectivo modelo de regressão. CT e CF = expresso em número mais provável por 100 mL.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores de volume e vazão do esgoto doméstico primário obtido no período de 05 a 11 de Outubro de 2011. Verifica-se na Tabela 4 que a vazão média semanal do esgoto doméstico primário foi de 14,80 L h⁻¹, correspondente a um volume de 355,26 L. Tal valor foi menor que o obtido por MOURA et al. (2011), provavelmente devido à redução do número de pessoas na residência durante o período experimental.

TABELA 4. Valores de volume e vazão do esgoto doméstico primário obtido no período de 05 a 11 de Outubro de 2011.

Data	Dia	Volume (L)	Tempo (h)	Vazão (L h ⁻¹)
05/10/2011	Quarta-feira	416,73	24	17,36
06/10/2011	Quinta-feira	401,44	24	16,73
07/10/2011	Sexta-feira	364,48	24	15,19
08/10/2011	Sábado	323,69	24	13,49
09/10/2011	Domingo	377,72	24	15,74
10/10/2011	Segunda-feira	321,15	24	13,38
11/10/2011	Terça-feira	281,64	24	11,74
Média		355,26	-	14,80

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos concluiu-se que:

- Houve redução significativa do nível populacional de coliformes totais e fecais para as distintas lâminas de esgoto doméstico primário sob exposição à radiação ultravioleta germicida;
- A lâmina de 5 cm de esgoto doméstico foi a mais eficiente na inativação dos coliformes totais e fecais presentes no esgoto doméstico primário;
- A qualidade microbiológica do esgoto doméstico exposto à radiação ultravioleta germicida permite o reuso da água para diversos fins agrícolas; e
- A exposição à radiação ultravioleta germicida reduziu o risco microbiológico de entupimento de gotejadores de sistemas de irrigação localizada que operam com esgoto doméstico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e INSA através do Edital 35/2010; e ao IF-Baiano através do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido com Ênfase em Recursos Hídricos (DSSERH), por oportunizar o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzida por H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damaceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; SANTOS, D. B. Riscos da fertirrigação com esgoto sanitário e as relações entre os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} e a salinidade total. **Revista Ceres**, v 53, p.394-398. 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Transversal/saneamento básico integrado às comunidades rurais e populações tradicionais: guia do profissional em treinamento**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: Ministério das Cidades, 2009. 88 p.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 05 ago. 2013.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **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.** Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

BRYANT, E. A.; FULTON, G.P.; BUDD, G.C. **Disinfection alternatives for safe drinking water.** Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 518p.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, p. 355-365, 1998.

CABELLO, F. R. P. **localizados de alta frequência (RLAF) goteo, microaspersión, exudación.** 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

CEARÁ. Portaria nº154, de 22 de julho de 2002. **Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras.** Disponível em:<http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 25 ago 2013.

GUO, M.; HU, H.; LIU, W. Preliminary investigation on safety of post-UV disinfection of wastewater: bio-stability in laboratory-scale simulated reuse water pipelines. **Desalination**, v 239, p. 22–28, 2009.

GOMES, F. P.; **Curso de estatística experimental.** 14. Ed. Piracicaba: Degaspari, 2000, 477p.

HALLMICH, C.; GEHR, R. Effect of pre- and post-UV disinfection conditions on photoreactivation of fecal coliforms in wastewater effluents. **Water Research**, v 44, p.2885-2893, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008.** Rio de Janeiro: MPOG, MC, 2010. 219 p.

MATOS, A. T. **Manejo e tratamento de resíduos agroindustriais.** Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 121 p. (Caderno didático n. 31).

MOURA, F. N. BATISTA, R. O.; SILVA, J. B. A.; FEITOSA, A. P.; COSTA, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, v. 8, p. 264-276, 2011.

NADDEO, V.; LANDIA, M.; BELGIORNOA, V.; NAPOLI, R.M.A. Wastewater disinfection by combination of ultrasound and ultraviolet irradiation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 168, p. 925–929. 2009.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, v. 12, p. 187-192, 1991.

REIFF, F.M.; WITT, V.M. **Guias para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección dela agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe**. Washington: OMS, 227p. 1995. (Série Técnica nº. 30)

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, p. 65-71, 2007.

SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, v.14, p.32-36 38, 2006.