



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

Desempenho de Sistema para Tratamento e Aproveitamento de Esgoto Doméstico em Áreas Rurais do Semiárido Brasileiro

Fernanda Negreiros Moura¹, Rafael Oliveira Batista², Jean Berg Alves da Silva³, Alex Pinheiro Feitosa⁴, Monalisa Soares Costa⁵

RESUMO

A inadequação dos serviços de saneamento básico é a principal causa de doenças e de poluição ambiental no mundo. O presente trabalho objetivou analisar o desempenho de um sistema para tratamento de esgoto doméstico visando o aproveitamento do efluente no ambiente rural. Os ensaios foram realizados em área experimental da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) em Mossoró-RN. A mini-estação é composta por tanque séptico, filtro inorgânico e reator solar. Análises físico-química e microbiológica foram realizadas nos efluentes coletados em distintos pontos do sistema. Com os resultados obtidos concluiu-se que o tratamento proporcionou remoções significativas das características físico-químicas (turbidez, coliforme total, coliforme fecal, DBO, DQO, sólidos suspensos, fósforo, óleos e graxas e nitrato). As remoções de DBO e DQO alcançaram valores de até 88,33 e 81,40%, respectivamente. Com um tempo de exposição de 12 horas alcançou-se remoções de até 99,9999 e 99,99% na população de coliforme total e coliforme fecal, respectivamente. Para possibilitar o uso seguro do efluente tratado é necessário aumentar a eficiência de remoção de sólidos suspensos da mini-estação e o tempo de exposição a radiação solar, de forma a obter um nível populacional sempre inferior a 5×10^3 NMP 100 mL⁻¹ quando da fertirrigação de cultivos agrícolas.

Palavras-chave: sustentabilidade; água residuária; meio ambiente.

ABSTRACT

PERFORMANCE OF SYSTEM FOR TREATMENT AND UTILIZATION OF DOMESTIC SEWAGE IN RURAL ÁREA OF BRAZILIAN SEMIARID

The inadequacy of basic sanitation is the leading cause of disease and environmental pollution in the world. This study aimed to analyze the performance of a system for treating domestic sewage aiming to use effluent in a rural environment. The tests were carried out in experimental area of University Federal Rural Semi-arid (UFERSA) in Mossoró-RN. The sewage treatment system consists of septic tank, inorganic filter and solar reactor. Physio-chemical and microbiological analysis were made on effluents collected in different points system. The results showed that the treatment provided significant removal of chemical and physical characteristics (turbidity, total coliform, fecal coliform, BOD, COD, suspended solids, phosphorus, grease and nitrate). The removals of BOD and COD values reached up to 88.33 and 81.40% respectively. With an exposure time of 12 hours were obtained removal up to 99.9999 and 99.99% in the population of total coliform and fecal coliform, respectively. To the safe use of treated effluent is necessary to increase the efficiency of removal of suspended solids from the sewage treatment system and time of exposure to sunlight in order to obtain a population level always less than 5×10^3 NMP 100 mL⁻¹ when fertigation of crops.

Keywords: sustainability; wastewater; environment.

Trabalho recebido em 25/09//2010 e aceito para publicação em 28/02/2011.

¹ Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2010). Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq - Nível C. e-mail: fernandanegreiros17@hotmail.com

² Professor Adjunto I da Universidade Federal Rural do Semi-Árido Bolsista de Extensão no País do CNPq - Nível 3

³ Graduação em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2009)

⁴ Graduado em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2010)

⁵ Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Bolsista de Iniciação Científica do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

A inadequação dos serviços de saneamento básico é a principal causa de doenças e de poluição ambiental no mundo. De acordo com Human Development Report (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. Indicando que a crise do saneamento é, acima de tudo, uma crise dos pobres. Em função disso, anualmente, cerca de 1,7 milhões de crianças morrem em resultado direto de diarreia e de outras doenças provocadas por água contaminada e por condições inadequadas de saneamento ambiental.

A falta de tratamento dos esgotos é considerada um dos maiores problemas sanitários da população brasileira. No Brasil, 47,2% da população não possui rede coletora de esgoto, nem ao menos fossa séptica. Isso significa que quase 100 milhões de habitantes não dispõem desses serviços; o problema é ainda mais grave nas comunidades rurais e de baixa renda. Por causa da situação socioeconômica brasileira, são imprescindíveis os investimentos no desenvolvimento de tecnologias alternativas, de baixo custo e boa eficiência para o tratamento das águas residuárias (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

A água residuária doméstica é aquela que provém, principalmente, de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações com banheiros, lavanderias e cozinhas. É constituída 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).

Segundo Chernicharo *et al.* (2006), as principais tecnologias de tratamento de esgotos domésticos nas companhias de saneamento são as seguintes: Tratamento preliminar: tem por finalidade remover as partículas sólidas grosseiras (granulometrias maiores que 0,25 mm) em suspensão nos esgotos domésticos, por meio de processos físicos. Grades, caixas de areia para a remoção de sólidos sedimentáveis e caixas de separação de materiais insolúveis como óleos e graxas pertencem a essa classe; Tratamento primário: objetiva a redução de sólidos em suspensão por meio de estruturas em alvenaria com tempo de detenção maior que o dos tratamentos preliminares ou de equipamentos com precipitantes químicos. Nessa etapa pode, também, ocorrer a degradação anaeróbia do material orgânico em suspensão, facilitando o tratamento secundário. Sedimentadores, tanques sépticos, flotores 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 microrganismos que necessitam continuamente de oxigênio dissolvido, no meio líquido, fornecido por aeradores mecânicos ou pela circulação dos líquidos (lagoas aeradas); e anaeróbio - utiliza microrganismos 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.

A utilização em série de tanque séptico e filtro anaeróbio favorece a utilização de reatores solares em etapas subseqüentes, devido principalmente à elevada remoção de sólidos, que potencializa, assim, a inativação dos organismos patogênicos pela radiação ultravioleta. Sanches-Roman *et al.* (2007)

analisaram o efeito da radiação solar na sobrevivência de *Escherichia coli* para o Município de Viçosa, MG. Constataram que a turbidez e o oxigênio dissolvido foram às características que mais interferiram no processo de desinfecção.

Neste sentido, o presente trabalho objetivou analisar o desempenho de um sistema para tratamento de esgoto doméstico visando o aproveitamento do efluente no ambiente rural.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semi - Árido (UFERSA) sob coordenadas geográficas 5°12'27" de latitude sul e 37°19'21" de longitude oeste. Nesta área experimental da UFERSA encontra-se uma residência em condições similares a de áreas rurais ocupada por oito pessoas.

No período de agosto a setembro de 2010 foi construída uma mini-estação de tratamento dos esgotos domésticos dotada dos seguintes componentes:

- **Caixas de passagem e tubulação de transporte de esgoto:** para o transporte do esgoto doméstico proveniente do vaso sanitário, chuveiro, pia da cozinha, tanque de lavagem de roupas e outros foi implantada uma tubulação de PVC com diâmetro nominal de 100 mm interligada a

seis caixas de passagem com dimensões internas de 0,60 m de lado por 0,50 m de profundidade. A primeira caixa de passagem recebeu um respiro confeccionado com segmento de tubo em PVC de 100 mm com 3,0 m de altura (ver Figura 3) para possibilitar a saída de odores desagradáveis, evitando-se transtornos dentro da residência.

- **Tanque séptico:** o tratamento preliminar e primário do esgoto doméstico ocorre no tanque séptico com duas câmaras dimensionado conforme as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993). O tanque séptico tem a finalidade de efetuar a retenção de sólidos flutuantes e matérias graxas (escuma); decantação de sólidos sedimentáveis; alteração de características da fase líquida; deposição, acúmulo e adensamento do lodo decantado em regime de decomposição anaeróbio; digestão da escuma; e redução sensível do número de bactérias patogênicas. No dimensionamento do tanque séptico utilizou-se de 800 L por dia de esgoto doméstico. Considerou-se tempo de detenção hidráulico (TDH) de 1 dia, taxa de acúmulo de lodo digerido de 177 dias, contribuição de lodo fresco de 1 L. hab.⁻¹ dia⁻¹, intervalo de limpeza do lodo de quatro anos e temperatura local acima de 20°C. O tanque séptico foi construído em alvenaria de tijolos e impermeabilizado com reboco contendo sika, possuindo as

dimensões internas de 1,30 m de largura por 2,4 m de comprimento por 1,00 de profundidade útil.

- **Filtro inorgânico:** este filtro foi dimensionado como um filtro anaeróbio utilizando as recomendações de Matos (2007). Este dispositivo é um sistema primário de tratamento de esgoto doméstico que proporciona tratamento complementar ao efluente do tanque séptico. O filtro apresenta fundo falso à 0,40 m do fundo e foi preenchido internamente com camada de brita 1 de 1,20 m. O filtro inorgânico foi construído em alvenaria de tijolos e impermeabilizada com reboco contendo sika, possuindo as dimensões internas de 1,00 m de lado por 1,60 de profundidade útil.

- **Reator solar:** este possibilita a redução do nível populacional dos coliformes termotolerantes, sendo uma unidade de tratamento terciário. Tal dispositivo foi construído em fibra de vidro, no formato cilíndrico, conforme as recomendações de Sanches-Roman *et al.* (2007) nas dimensões de 1,30 m de diâmetro e 0,40 m de profundidade. No interior do reator foi fixada uma régua com precisão de um centímetro para o monitoramento da lâmina de efluente a ser tratado. Este dispositivo foi operado com uma lâmina de efluente de 0,10 m durante um período de exposição à radiação solar de 12 horas. Registros de esfera foram

instalados a montante e a jusante do reator solar para possibilitar com facilidade o seu manejo durante o período experimental.

- **Sumidouro:** este dispositivo permite o tratamento secundário e terciário do esgoto doméstico e foi dimensionado conforme as recomendações NBR 7229 (ABNT, 1982). Com um ensaio prévio de infiltração constatou-se que o coeficiente de infiltração do solo na área foi de $65 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. O sumidouro foi construído com tubos perfurados de PVC de 100 mm e brita 1, cuja caracterização granulométrica está apresentada no Quadro 4. Para tal, foi escavada uma vala em formato prismático com 1,20 m de largura x 10,00 m de comprimento x 0,50 m de profundidade.

A mini-estação de tratamento de esgoto doméstico foi monitorada, no período de setembro a novembro de 2010. Para tal, foram realizadas as seguintes atividades:

- Medição da vazão de esgoto doméstico gerado na residência, no período de 04 a 10 de Novembro de 2010, pelo método gravimétrico.

- Caracterização física, química e microbiológica dos efluentes à montante e à jusante de cada componente da mini-estação.

No período de 6 a 27 de outubro de 2010 foram efetuadas quatro amostragens dos efluentes em quatro pontos do sistema (ponto 1 - efluente coletado na entrada do

tanque séptico; ponto 2 - efluente coletado na saída do tanque séptico; ponto 3 - efluente coletado à jusante do filtro inorgânico; e ponto 4 - efluente coletado no reator solar). Para tal, foram coletadas amostras simples dos efluentes, nos horários de 8:00, 11:00 e 14:00 horas, para a formação de amostras compostas.

Neste processo, as amostras foram acondicionadas em caixa isotérmica com gelo, à temperatura de 4°C , para preservação. As amostras compostas foram encaminhadas para laboratórios específicos visando a realização das seguintes análises físico-químicas: turbidez, condutividade elétrica, nitrogênio total, fósforo total, óleos e graxas, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e sólidos suspensos. Para análise microbiológica foram coletadas amostras simples às 14:00 horas, para identificação e quantificação de coliformes termotolerantes. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN), enquanto as análises microbiológicas foram feitas no Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal (UFERSA).

Deve-se ressaltar que para avaliar estas características foi necessário o preparo do reator solar, um dia antes da amostragem, ou seja, às 14:00 horas do dia

anterior armazenou-se uma lâmina de efluente no reator de 0,10 m (em função da escassez de água neste período do ano), para exposição à radiação solar local. Dados de radiação foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período experimental com o intuito de explicar as variações ocorridas no nível populacional dos coliformes totais e termotolerantes.

A mini-estação de tratamento de esgoto doméstico foi monitorada, no período de setembro a novembro de 2010. Para tal, foram realizadas as seguintes atividades:

- Medição da vazão de esgoto doméstico gerado na residência, no período de 04 a 10 de Novembro de 2010, pelo método gravimétrico.

- Caracterização física, química e microbiológica dos efluentes à montante e à jusante de cada componente da mini-estação.

No período de 6 a 27 de outubro de 2010 foram efetuadas quatro amostragens dos efluentes em quatro pontos do sistema (ponto 1 - efluente coletado na entrada do tanque séptico; ponto 2 - efluente coletado na saída do tanque séptico; ponto 3 - efluente coletado à jusante do filtro inorgânico; e ponto 4 - efluente coletado no reator solar). Para tal, foram coletadas amostras simples dos efluentes, nos

horários de 8:00, 11:00 e 14:00 horas, para a formação de amostras compostas.

Neste processo, as amostras foram acondicionadas em caixa isotérmica com gelo, à temperatura de 4°C, para preservação. As amostras compostas foram encaminhadas para laboratórios específicos visando a realização das seguintes análises físico-químicas: turbidez, condutividade elétrica, nitrogênio total, fósforo total, óleos e graxas, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e sólidos suspensos. Para análise microbiológica foram coletadas amostras simples às 14:00 horas, para identificação e quantificação de coliformes termotolerantes. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN), enquanto as análises microbiológicas foram feitas no Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal (UFERSA).

Deve-se ressaltar que para avaliar estas características foi necessário o preparo do reator solar, um dia antes da amostragem, ou seja, às 14:00 horas do dia anterior armazenou-se uma lâmina de efluente no reator de 0,10 m (em função da escassez de água neste período do ano), para exposição à radiação solar local. Dados de radiação foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia

(INMET) para o período experimental com o intuito de explicar as variações ocorridas no nível populacional dos coliformes totais e termotolerantes.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições no tempo (quatro datas de amostragem), em função dos dados de amostragem terem sido obtidos ao acaso na mini-estação. Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando-se o teste F com significância de até 5%. As médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey com significância de até 10%, em função de trabalhar com variáveis qualitativas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1. Valores de vazão e do volume de esgoto doméstico medidos em uma residência localizada no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN.

Data	Dia da semana	Volume (L)	Vazão (L h ⁻¹)
04/11/2010	Quinta	504,38	21,02
05/11/2010	Sexta	457,93	19,08
06/11/2010	Sábado	331,83	15,08
07/11/2010	Domingo	477,84	19,91
08/11/2010	Segunda	369,00	14,76
09/11/2010	Terça	245,56	10,23
10/11/2010	Quarta	298,65	12,44
Média		383,60	16,07

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de vazão e do volume de esgoto doméstico medidos em uma residência localizada no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN. Constatou-se, nesse quadro, que o volume e a vazão média semanal de esgoto doméstico na residência foi de 383,60 L e 16,07 L h⁻¹, respectivamente.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas dos efluentes coletados na mini-estação de tratamento de esgoto doméstico, no período de 06 a 27 de outubro de 2010.

Tabela 2. Características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados a montante e jusante das unidades da mini-estação de tratamento de esgoto doméstico, ao longo do período experimental.

Pontos	pH	CE	TB	CT	CTe	DQO	DBO	ST	SS	P _{total}	N _{total}	OG	NO ₃ ⁻
		dS m ⁻¹	UNT	NMP 100 mL ⁻¹		mg L ⁻¹							
Amostragem de 6 de outubro de 2010													
1	5,79	1,28	777,80	1,1x10 ⁷	1,1x10 ⁷	456,13	205,39	977,00	345,00	2,46	10,18	58,60	4,65
2	5,78	1,26	241,30					945,00	326,00				
3	7,31	1,15	105,7					786,00	78,70				
4	6,48	1,16	104,8	4,3x10 ³	3,0x10 ²	106,56	70,56	778,00	75,60	2,22	8,66	7,80	4,01
Amostragem de 13 de outubro de 2010													
1	8,39	1,11	244,50	1,1x10 ⁹	1,1x10 ⁷	402,01	156,24	706,00	226,00	16,32	38,01	45,13	6,98
2	7,02	1,13	224,30					668,00	216,00				
3	7,46	1,02	33,51					578,00	24,00				
4	7,30	1,03	40,87	7,4x10 ⁴	7,4x10 ³	74,78	18,23	592,00	28,00	3,28	8,68	5,90	2,62
Amostragem de 20 de outubro de 2010													
1	6,56	1,33	339,30	1,1x10 ⁹	1,1 x 10 ⁷	515,16	372,00	766,00	194,00	22,68	52,28	62,30	6,79
2	7,86	1,34	316,80					686,00	98,00				
3	7,55	1,08	70,40					678,00	94,00				
4	7,85	1,08	73,88	1,5x10 ³	7,4 x 10 ²	100,01	98,89	686,00	56,00	3,34	14,92	11,20	2,34
Amostragem de 27 de outubro de 2010													
1	6,19	0,92	456,5	1,1x 10 ¹⁰	1,1x10 ⁸	463,94	261,12	960,00	178,00	22,37	58,52	94,20	8,25
2	6,57	0,95	350,40					740,00	178,00				
3	7,27	0,93	18,69					644,00	28,00				
4	7,03	0,91	11,67	1,1x10 ⁴	5,30x10 ³	147,18	79,97	572,00	22,00	3,08	33,34	2,30	3,99

NOTA: Ponto 1: efluente coletado na entrada do tanque séptico; Ponto 2: efluente coletado na saída do tanque séptico; Ponto 3: efluente coletado à jusante do filtro inorgânicos; e Ponto 4: efluente coletado no reator solar. pH - potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica; TB - turbidez; CT - coliformes totais; CTe - coliformes termotolerantes; DQO - demanda química de oxigênio; DBO - demanda bioquímica de oxigênio; ST - sólidos totais; SS - sólidos suspensos; P_{total} - fósforo total; N_{total} - nitrogênio total; OG - óleos e graxas; e NO₃⁻ - nitrato

Analisando os dados apresentados na Tabela 2 notou-se que houve redução na concentração das características físico-químicas TB, DQO, DBO, ST, SS, P_{total}, N_{total}, OG e NO₃⁻ quando se estabelece comparação entre os Pontos 1 e 4, nos quatro dias de amostragem. Com relação às características pH e CE não foram observadas alterações consideráveis ao longo do período experimental.

O pH do efluente do reator solar (ponto 4) apresentou variação de 6,48 a 7,85, nos quatro dias de amostragem. Segundo BRASIL (2005), os valores de pH encontraram-se dentro da faixa de 5 a 9 para lançamento de efluente tratado em corpo hídrico receptor.

Os valores de condutividade elétrica do efluente coletado no ponto 4 oscilou de 0,91 a 1,16 dS m⁻¹. De acordo com

CEARÁ (2002), esses valores de condutividade elétrica são inferiores ao limite de 3 dS m^{-1} , estabelecido para reuso de água em cultivos agrícolas.

A turbidez dos efluentes coletados no ponto 4 oscilou de 11,67 a 104,8 UNT, nos quatro dias de amostragem. As remoções obtidas no sistema oscilaram de 78,23 a 97,44% no período experimental.

Para a DQO do efluente do reator solar (ponto 4) constatou-se variações de 74,78 a 147,18 mg L^{-1} , nos quatro dias de amostragem, atendendo ao padrão para lançamento direto de efluente tratado em corpo hídrico receptor, conforme consta na Portaria 154 do Estado do Ceará que estabelece como limite para DQO o valor de 200 mg L^{-1} (CEARÁ, 2002). Estabelecendo comparação entre os pontos 1 e 4, notou-se que houveram remoções de DQO de 76,60 a 81,40%, ao longo do período experimental, superior a faixa de 70 a 80% apresentada por Von Sperling (2005) para o conjunto tanque séptico mais filtro anaeróbio.

Comparando os valores de DBO dos efluentes coletados nos pontos 1 e 4, nos quatro dias de amostragem, constatou-se variações nas remoções de 65,65 a 88,33%, semelhante a faixa de 80 a 85% apresentada por Von Sperling (2005) para o conjunto tanque séptico mais filtro anaeróbio. Nesse caso, apenas o resultado do dia 13 de outubro de 2010 atendeu ao

limite de 60 mg L^{-1} de DBO_5 para lançamento direto de efluente tratado em corpo hídrico receptor, conforme a Portaria 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002).

Estabelecendo comparação entre os pontos 1 e 4 da mini-estação de tratamento de esgoto doméstico, observou-se que a remoção de ST variaram de 10,44 a 40,42%. Os valores de ST para o efluente do reator solar apresentaram oscilações de 572,00 a 778,00 mg L^{-1} , no período experimental.

Analisando os dados da Tabela 2, constatou-se que os valores de SS do efluente do reator solar (ponto 4) oscilaram de 22 a 75,6 mg L^{-1} . Nesse caso, os resultados dos dias 13 e 27 de outubro de 2010 atendem ao padrão para lançamento direto de efluente tratado em corpo hídrico receptor, de acordo com a Portaria 154 do Estado do Ceará que apresenta valor limite de 50 mg L^{-1} (CEARA, 2002). Realizando comparações entre os valores de SS dos pontos 1 e 4 constataram-se remoções de 71,13 a 87,64%, ao longo do período experimental. Tais remoções foram um pouco inferiores a faixa de 80 a 90% apresentada por Von Sperling (2005) para o conjunto tanque séptico mais filtro anaeróbio.

Para os valores de P_{total} dos efluentes coletados no reator solar (ponto 4) observou-se oscilações de 2,22 a 3,34 mg L^{-1} , nos quatro datas de amostragem.

Estabelecendo comparação entre os pontos 1 e 4 constatou-se remoções que variaram de 9,76 a 86,23%. Nos dias 13, 20 e 27 de outubro de 2010, as remoções de P_{total} foram superiores ao valor limite de 35% apresentado por Von Sperling (2005) para o conjunto tanque séptico mais filtro anaeróbio.

Os valores de N_{total} dos efluentes do reator solar (ponto 4) apresentaram variação de 8,66 a 33,34 $mg L^{-1}$, respectivamente, ao longo do período experimental. Notou-se, também, que as remoções de N_{total} variaram de 14,93 a 77,16%. Tais remoções foram semelhantes às obtidas por Von Sperling (2005) para o conjunto tanque séptico mais filtro anaeróbio, com exceção do dia 13 de outubro de 2010.

As concentrações de OG nos efluentes do reator solar (ponto 4) oscilaram de 2,30 a 11,20 $mg L^{-1}$. Nesse caso, os resultados atendem ao padrão para lançamento direto de efluente tratado em corpo hídrico receptor, conforme apresentado na resolução CONAMA 357/2005, que estabelece limite de 50 $mg L^{-1}$ para gorduras animais e vegetais.

Analisando os dados da Tabela 2, verificou-se que os valores de NO_3^- do efluente do reator solar (ponto 4) apresentaram variações de 2,34 a 4,01 $mg L^{-1}$. Comparando os pontos 1 e 4 observou-se remoções de 13,76 a 65,54%, ao longo

do período experimental. Deve-se ressaltar que ao longo do trabalho não foi observado o processo de nitrificação, que consiste na transformação do nitrogênio amoniacal em nitrato.

Em relação às características microbiológicas dos efluentes coletados, constatou-se que houve redução no nível populacional de CT e CTe quando se estabelece comparação entre os pontos 1 e 4, no período de ensaio. As reduções dos níveis populacionais de CT e CTe oscilaram de 99,99 a 99,9999; e 99,7 a 99,99%, respectivamente. Neste período a radiação solar local variou de 24,45 a 29,93 $MJ m^{-2} d^{-1}$ (Tabela 3). Os níveis populacionais de CTe no ponto 1 e 4 oscilaram de $1,1 \times 10^5$ a $1,1 \times 10^8$ NMP 100 mL^{-1} e $3,0 \times 10^2$ a $7,4 \times 10^4$, respectivamente. Nos efluentes coletados nos dias 06 e 20 de outubro de 2010 os níveis populacionais de CTe atenderam ao limite de $5,0 \times 10^3$ NMP 100 mL^{-1} estabelecido pela Portaria 154 do Estado do Ceará (CEARA, 2002) para utilização de esgoto doméstico tratado em cultivos agrícola que não sejam consumidos crus. O sistema proporcionou redução de 3 a 5 unidades logarítmicas na população de CTe, sendo superior a faixa de 1 a 2 unidades logarítmicas apresentada por Von Sperling (2005) para o conjunto tanque séptico mais filtro anaeróbio.

Tabela 3. Valores integralizados de radiação global nos dias do monitoramento da mini-estação de tratamento.

Data	Radiação acumulada (MJ m ⁻² d ⁻¹)
05 a 06/10/2010	29,93
12 a 13/10/2010	28,94
19 a 20/10/2010	27,90
26 a 27/10/2010	24,45
Média	27,81

Estão apresentados na Tabela 4, os valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas e microbiológicas do esgoto doméstico nas etapas de tratamento da mini-estação referentes aos pontos 1, 2, 3 e 4.

Pela análise de variância, verificou-se que as características pH, CE, ST e N não foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. Enquanto, as características TB, CT, CTe, DQO, DBO,

SS, P, N, OG e NO₃⁻ foram significativas a 1 e 5%, respectivamente, de probabilidade pelo teste F.

Estabelecendo comparação entre os pontos 1 e 4, constata-se que as características CT, CTe, DQO, DBO, SS, P, OG e NO₃⁻ diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Enquanto, a característica TB difere estatisticamente à 10% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas e químicas do esgoto doméstico nas etapas de tratamento referentes aos pontos 1, 2, 3 e 4.

Característica	F	Amostragem			
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
pH	0,45 ^{ns}	7,40	7,17	6,81	6,73
CE (dS m ⁻¹)	1,16 ^{ns}	1,17	1,16	1,05	1,05
TB (UNT)	11,32*	454,53A	283,20AB	57,80B	57,07B
CT (NMP 100 mL ⁻¹)	45,01**	6,24 x 10 ⁸ a			8,51 x 10 ³ b
CTe (NMP 100 mL ⁻¹)	24,88 **	6,19 x 10 ⁶ a			1,72 x 10 ³ b
DQO (mg L ⁻¹)	162,92*	459,31a			107,13b
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	13,51**	248,69a			66,91b
ST (mg L ⁻¹)	5,52 ^{ns}	852,35	759,75	671,50	657,00
SS (mg L ⁻¹)	22,90**	235,75a	204,50a	56,18b	45,40b
P _{total} (mg L ⁻¹)	7,50*	15,96a			2,98b
N _{total} (mg L ⁻¹)	3,64 ^{ns}	39,74			16,40
OG (mg L ⁻¹)	30,46**	65,06a			6,80b
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	15,60**	6,67a			3,24b

Nota 1: pH - potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica; TB - turbidez; CT - coliformes totais; CTe - coliformes termotolerantes; DQO - Demanda Química de Oxigênio; DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio; ST - sólidos totais; SS - sólidos suspensos; P - fósforo total; N - nitrogênio total; OG - óleos e graxas; e NO₃⁻ - nitrato.

Nota 2: ** F significativo a 1% de probabilidade, * F significativo a 5% de probabilidade e ^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula e maiúscula nas linhas não diferem entre si, a 5 e 10% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Figura 1 contém o indicador visual do tratamento do esgoto doméstico. Verificaram-se, nesta figura, que houve redução considerável na turbidez e na

concentração de sólidos do efluente quando se estabelece comparação entre os ponto 1 e 4 da mini-estação.



Figura 1. Ilustração dos efluentes coletados a montante (ponto 1) e a jusante (ponto 4) da mini-estação. (Foto: Fernanda Negreiros Moura)

4. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos durante o monitoramento da mini-estação de tratamento de esgoto doméstico conclui-se que:

- O tratamento proporcionou remoções significativas das características físico-químicas (TB, DQO e P; e DBO, SS, OG e NO_3^-). As remoções de DBO e DQO alcançaram valores de até 88,33 e 81,40%, respectivamente.

- Em todo período experimental constatou-se que as características pH e OG do efluente tratado atendeu aos padrões nacionais para lançamento de efluente tratado em corpo hídrico receptor;

- Com um tempo de exposição de 12 horas e dose média da radiação solar de Mossoró alcançou-se remoções de até 99,999 e 99,99% na população de CT e CTe, respectivamente.

- Para possibilitar o uso seguro do efluente tratado é necessário aumentar a eficiência de remoção de SS da mini-estação e o tempo de exposição a radiação solar, de forma a obter um nível populacional sempre inferior a 5×10^3 NMP 100 mL^{-1} quando da fertirrigação de cultivos agrícolas.

- Em geral, o sistema foi monitorado por um período inferior a três meses, porém foram obtidos resultados satisfatórios quanto ao desempenho da mini-estação. Com um período maior de

monitoramento pode-se esperar aumento na eficiência do sistema.

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229. **Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1982, 37p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15p.
- BRASIL (2005). 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: 28 jul. 2010.
- CEARÁ (2002). 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: 15 nov. 2010.
- 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.; AISSÉ, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABEAS, 2006, cap. 3, p. 63 - 110. (Projeto PROSAB).
- HUMAN DEVELOPMENT REPORT 2006 - HDR. **Power, poverty and the global water crisis**. United Nations Development Programme, New York, 2006. 440p.
- MATOS, A. T. **Manejo e tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 121 p. (Caderno Didático n. 31).
- 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.
- 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**, St. Joseph, v. 50, n. 1, p. 65-71, 2007.
- 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).