



IV-194 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DOMICILIAR DE REÚSO CONSTITUÍDO POR FILTRAÇÃO COM RECIRCULAÇÃO E DESINFECÇÃO POR UV

Ricardo Prado Abreu Reis ⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Civil da UFG e Professor da Escola de Engenharia Civil / Universidade Federal de Goiás.

José Vicente Granato de Araújo ⁽²⁾

Engenheiro Civil, Ph.D. em Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Professor da Escola de Engenharia Civil / Universidade Federal de Goiás e Gerente de Hidrogeologia da Saneamento de Goiás S/A-SANEAGO.

Victor Hugo Soares e Silva ⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás

Endereço ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾: Escola de Engenharia Civil – UFG, Pç Universitária, Avenida Universitária, S/N, Setor Universitário, Goiânia- GO - CEP: 74.605-220 - Brasil - Tel: (62) 32096084 - e-mail: rpais@terra.com.br

RESUMO

A busca por soluções que visem um uso mais sustentável da água no meio urbano tem como base metodológica a adoção de medidas voltadas para a gestão da oferta e da demanda de água nas edificações. Assim, dentre as soluções de conservação de água no ambiente urbano, a busca por fontes alternativas de suprimento de água em sistemas prediais, como exemplo, o reúso de águas cinza para fins não potáveis, apresenta-se como alternativa de grande potencial para tal fim, não obstante a falta de padronização e consolidação de técnicas e políticas públicas desta categoria de reúso em nível nacional. Este trabalho tem como objetivo apresentar a concepção de um sistema domiciliar de reúso de efluentes provenientes de descargas de chuveiros, lavatórios, tanque e máquina de lavar roupas, implantado em uma residência unifamiliar em Goiânia, Goiás. Objetiva também a avaliação da eficiência do sistema de tratamento constituído por um tanque de sedimentação, seguido por um filtro de brita e areia com recirculação e desinfecção por UV. A metodologia consistiu na concepção e implantação do sistema, no monitoramento de variáveis de operação quantitativas como as vazões de descargas dos efluentes que escoavam para o sistema de reúso, bem como das variáveis qualitativas do efluente antes e após o tratamento. Os resultados obtidos serviram para um melhor conhecimento da eficiência das unidades e dos procedimentos operacionais do sistema de reúso implantado. Além disso, demonstram por meio de comparação dos resultados de qualidade do afluente e efluente, a evolução de desempenho do sistema de tratamento por filtração, que mostraram claramente a influência da fase de maturação dos filtros na melhora da qualidade da água tratada.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso de águas cinza, tratamento de esgoto doméstico, conservação de água, sistemas hidráulicos sanitários prediais.

INTRODUÇÃO

Atualmente a sociedade em todo o mundo discute, com bastante preocupação, a redução da disponibilidade de água para atendimento das necessidades humanas. O crescimento populacional, o aumento da concentração nos centros urbanos, a necessidade de aumento da produção agrícola e o desenvolvimento industrial contribuem para o aumento da demanda por água e, também, para sua degradação. A grande preocupação global é que esta crescente demanda somada a degradação hídrica, impossibilite a renovação natural da água em tempo hábil capaz de preservar o equilíbrio natural do meio ambiente e, ao mesmo tempo, consiga suprir todas as demandas necessárias. Promovendo, assim, um estado de escassez crônica de água com qualidade adequada à utilização em grande parte do planeta, o que levaria a um caos generalizado. Esta condição caracteriza um estado de stress hídrico, que impede o desenvolvimento e submete o ser humano a condições mínimas de manutenção de sua saúde. Segundo EARTH TRENDS (2007), o stress hídrico pode atingir 2/3 dos países do mundo em 2025, e submeter 1/3 destes países a condições abaixo do stress hídrico até o ano de 2050.

Assim, a busca por novas soluções sustentáveis, por tecnologias mais eficientes, além do desenvolvimento de diretrizes e políticas públicas que promovam a conservação e o uso racional da água vem sendo impulsionada



como processo necessário para a alteração do quadro de escassez hídrica previsto para um futuro próximo. Dentre os métodos de conservação e uso racional de água que possibilitam um melhor aproveitamento e gerenciamento deste recurso natural, são citados os procedimentos de reúso de água, sejam eles aplicados no meio agrícola, urbano ou em edificações.

Apesar da maior demanda por água estar concentrada no setor agrícola, que segundo a U.S.EPA (2004) consome 80% da demanda mundial de água, é no meio urbano (indústrias, comércios e unidades domiciliares) onde é utilizada praticamente toda parcela de água tratada para o desenvolvimento das atividades antrópicas. É esta água tratada que concentra um maior valor agregado, além do mais, a maioria dos usos urbanos de água é não consuntivo. Isso significa que grande parcela das atividades que demandam água no meio urbano, tais como: descarga de aparelhos sanitários, procedimentos de limpeza, processos industriais, entre outros, geram descargas de efluentes cujo volume é composto por quase que a totalidade da água utilizada.

O que propõe os sistemas prediais de reúso de água é um melhor gerenciamento do uso de água, relacionando às atividades de demandas aos padrões de qualidade da água necessários para este determinado uso. Deste modo, efluentes gerados após uma determinada atividade consumidora de água, dependendo de sua qualidade, podem ser reutilizados, após tratamento adequado, em outras ou na mesma atividade, OLIVEIRA *et al.* (2007).

Com a crescente preocupação mundial quanto ao estabelecimento do desenvolvimento sustentável, nas últimas décadas, houve um grande incentivo às pesquisas relacionadas ao melhor entendimento de sistemas de reúso de água. Atualmente, países como: Austrália, Japão, Canadá, Reino Unido, parte dos Estados Unidos, Israel, Costa Rica, México, entre outros, já aplicam esta tecnologia amparados por legislações e regulamentações específicas que visam o desenvolvimento e aplicação de sistemas de reúso de água de forma segura, preservando a saúde pública e a preservação do meio ambiente, U.S.EPA (2004).

No Brasil, apesar do grande esforço quanto ao desenvolvimento de pesquisas relacionadas com sistemas de reúso de água e da existência da NBR 13969 (1997), que estabelece alguns conceitos e procedimentos básicos a respeito dos sistemas de reúso de forma bastante superficial, até o momento, não existe uma regulamentação que defina parâmetros e critérios específicos para a implantação de sistemas de reúso de água em edificações residenciais. Apesar disso, já é possível observar o grande interesse do mercado quanto à implantação desses sistemas, sendo possível verificar experiências pontuais de aplicação prática, que vêm surgindo cada vez com maior frequência.

Desta forma, este trabalho apresenta um estudo de aplicação prática e avaliação de desempenho de um sistema de reúso de águas cinza, constituída por efluentes provenientes de descargas de chuveiros, lavatórios, tanque e máquina de lavar roupas, implantado em uma residência unifamiliar na cidade de Goiânia-GO. Com o sistema experimental submetido a condições reais de funcionamento, foi possível: caracterizar físico-química e biologicamente a água de reúso pré e pós-tratamento, avaliar aspectos de concepção do sistema de reúso de águas cinza constituído por filtro lento e desinfecção UV, estudar seu potencial de conservação de água, avaliar seu custo de implantação e avaliar os procedimentos de manutenção e operação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi executado um sistema experimental de coleta, tratamento e reutilização dos efluentes dos lavatórios, chuveiros, tanque e máquina de lavar roupas de uma residência unifamiliar. Para isso, os coletores de esgoto do efluente provenientes desses equipamentos foram separados dos demais coletores: bacias sanitárias e da pia de cozinha.

Para avaliação de desempenho da unidade de tratamento do sistema de reúso de águas cinza, constituído por um filtro biológico de brita e areia, foram coletadas amostras pré e pós-tratamento, com intervalos quinzenais. As amostras foram encaminhadas para o laboratório da ETE Goiânia da SANEAGO para avaliação dos parâmetros: DBO, oxigênio dissolvido, DQO, pH, turbidez, cor, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos totais fixos, sólidos suspensos, nitrogênio amoniacal total, óleos e graxas, alcalinidade total, nitrogênio Kjeldahl, acidez, sulfeto, sulfeto total, surfactantes, ferro dissolvido, fósforo, condutividade e coliformes termotolerantes. O monitoramento do sistema de tratamento de águas cinza ocorreu durante um período de cinco meses, supondo ser este um intervalo de tempo adequado para avaliação da maturação dos



filtros e do equilíbrio do sistema. Os parâmetros avaliados foram comparados com os limites sugeridos pelas seguintes legislações: NBR 13969 (1997), U. S. EPA (Guidelines for Water Reuse, 2004), e o Guia de Conservação e Reúso da Água em Edificações (FIESP, 2005), visando, portanto, avaliar a eficiência dos sistemas de tratamento.

A avaliação da concepção do sistema experimental de reúso de águas cinza foi feita por meio da observação da operação dos componentes do sistema implantado: captação, transporte, ramal de desligamento, tratamento, reservação, destinação, entre outros.

Quanto ao potencial de conservação de água, foi feito o monitoramento da vazão média de água cinza gerada diariamente pelos usuários do sistema e, por meio deste valor, determinou-se o volume disponível para ser reutilizado para irrigação das áreas verdes da edificação. O volume de água cinza produzido diariamente foi medido por meio da diferença do nível d'água no tanque de sedimentação (primeira unidade do sistema de tratamento), que possui dimensões conhecidas, permitindo assim, o cálculo do volume por meio da Equação 1.

$$V = A_b \times h \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: V = volume gerado (m^3)
 A_b = área da seção do tanque de sedimentação (m^2)
 h = altura do nível de água (m)

Por último, foi estudada a viabilidade do sistema que foi avaliada por meio do levantamento dos custos de implantação, operação e manutenção em comparação com a economia gerada pela redução no consumo de água potável.

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUAS CINZA ESTUDADO

A unidade de tratamento do sistema de reúso estudado, ilustrado pelas Figuras 1 e 2, recebe inicialmente o efluente em um tanque de sedimentação, dimensionado conforme a NBR 13969 (1997). Posteriormente, devido ao fluxo de descargas, o efluente é conduzido para um filtro composto por duas camadas, sendo uma de brita nº1 e outra de areia média peneirada. Ao passar pelo filtro, o efluente tratado é conduzido para um reservatório de armazenamento com capacidade de 600L, suficiente para suprir a demanda de água para a irrigação da área verde da residência.

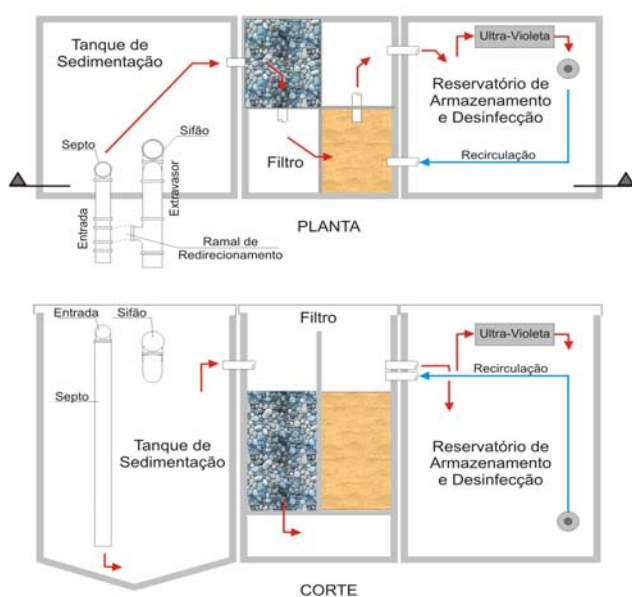


Figura 1: Detalhe esquemático de funcionamento do sistema de reúso.



Figura 2: Unidade de tratamento do sistema de reúso de águas cinza.

O volume de água de reúso gerado na residência habitada por duas pessoas foi monitorado por três semanas, onde foram medidas descargas diárias na faixa entre 74,15L e 382,8L, sendo a média diária igual a 170,24L. Conforme ilustra as Figuras 3 e 4, o efluente chega ao tanque de sedimentação por meio de um septo afogado, que favorece a sedimentação de materiais sólidos. Quando um volume maior chegava ao sistema de tratamento, operando em sua capacidade máxima, o excedente é conduzido por um extravasor do tipo “tulipa” para a rede coletora pública. Nesse extravasor, foi instalado um sifão para impedir o retorno de odores e insetos para dentro do sistema de tratamento.



Figura 3: Montagem do septo de chegada e sifão do extravasor.



Figura 4: Unidade de sedimentação com septo afogado e sifão extravasor montados.

Caso o sistema de reúso tenha que ser desligado, foi previsto um ramal de redirecionamento, ilustrado pelas Figuras 5 e 6, com a finalidade de conduzir o efluente destinado a Estação de Tratamento de Águas Cinza - ETAC diretamente para a rede pública.



Figura 5: Ramal de redirecionamento ilustrando o sistema desligado.



Figura 6: Ramal de redirecionamento ilustrando o sistema ligado.

Após passar pelo sistema de sedimentação, a água cinza é conduzida para uma unidade de filtração compartimentada em quatro câmaras, cada uma com dimensões de aproximadamente 0,30 x 0,40m e 1,10m de altura útil. Para este estudo, foram utilizadas apenas duas câmaras, onde foram montadas uma camada filtrante com 60cm de brita nº1 lavada e outra com areia média peneirada, conforme ilustra as Figuras 7 e 8. A areia utilizada no filtro foi classificada como SP segundo a classificação granulométrica unificada, com taxa de filtração, determinada em laboratório, de 2,28 m³/m².dia, o que classifica o sistema como filtração lenta. Outra característica do filtro é seu funcionamento em condições anaeróbicas, escolhido devido ao menor consumo de energia e menor produção de lodo. Assim como nas demais unidades da ETAC, também foi instalado um ramal de ventilação com a finalidade de exaustão dos gases formados nesta unidade devido a ação de digestão biológica, evitando assim, a liberação de odores desagradáveis no interior da edificação.



Por último, a água é encaminhada para um reservatório de armazenamento e desinfecção. Conforme ilustra a Figura 9, nesta unidade, foram instalados um sistema de desinfecção por U.V., um aerador e uma bomba que promove a recirculação do efluente no sistema de filtração, visando uma melhor eficiência do sistema de tratamento. O filtro U.V. e o aerador foram programados por meio de um timer para funcionar 10 horas diárias, em dois intervalos de 5 horas, enquanto que a recirculação foi programada para funcionar 8 horas, em 16 intervalos de 30 minutos espaçados igualmente durante o dia.



Figura 7: Montagem da unidade de filtração compartimentada.



Figura 8: Unidade de filtração com camada de brita nº1 e areia média.

A função do filtro U.V., constituído por uma lâmpada de vapor de mercúrio de 15W envolta por uma luva de quartzo, é de eliminar os microrganismos patogênicos, promovendo assim, a desinfecção da água. Essa unidade emite irradiação U.V. sobre a água contaminada, que circula pelo equipamento, causando alterações bioquímicas ou quebra de moléculas nas células dos microrganismos e conseqüentemente sua morte ou inativação.

Já a unidade de aeração, constituída por um compressor que libera 4L/min de ar na água armazenada, foi instalado com objetivo de melhorar as características da água a ser reutilizada, promovendo principalmente a remoção de odores.



Figura 9: Reservatório de desinfecção e armazenamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a avaliação da concepção do sistema de reúso de águas cinza, foram observados durante sua operação, os componentes implementados no mesmo: coletores independentes, ramal de redirecionamento, entrada na unidade de tratamento com septo afogado, extravasor tipo “tulipa” com sifão, filtros de brita e areia, reservatório de armazenamento, unidade de desinfecção, bombas de recirculação e colunas de ventilação.

Observando o funcionamento de cada unidade do sistema de reúso de águas cinza, algumas ressalvas foram levantadas. A primeira quanto ao sistema de desinfecção por U.V.. Avaliando sua operação com lâmpadas afogadas pôde-se observar uma redução de eficiência devido à formação de uma camada biofilme na luva de quartzo que envolve as lâmpadas. Sendo assim, recomendada a desmontagem e limpeza diária do equipamento para obtenção de um funcionamento adequado. Este problema poderia ser resolvido com a substituição por um sistema de desinfecção por U.V. onde a lâmpada utilizada não ficasse afogada. Outro problema observado foi quanto ao material utilizado para dividir as câmaras da unidade de filtração. O material plástico, apesar de ser inerte, e não interferir no processo de tratamento, não suportou o esforço lateral devido ao peso da camada de britas, rompendo após o quinto mês de funcionamento do sistema, o que ocasionou interrupção do funcionamento do sistema. Todos os demais componentes demonstraram bom funcionamento durante o período de estudo, permitindo fácil acesso, operação e manutenção, não apresentando vazamentos, tão pouco emissão de odores, produção excessiva de lodo, proliferação de insetos, entre outros.

Quanto ao desempenho do sistema de tratamento das águas cinza, constituído por um filtro lento com recirculação e desinfecção U.V., por meio das análises de qualidade da água e da montagem do perfil da eficiência de tratamento, comparando dados pré e pós-tratamento, demonstraram duas fases distintas. Os primeiros 45 dias de funcionamento, ilustrados pelo gráfico da Figura 10, demonstraram claramente a etapa de maturação dos filtros, definido pela formação do *Schmutzdecke* (camada biológica de tratamento) sobre o meio filtrante. Por este gráfico é possível notar uma melhora sucessiva ao longo do período avaliado da maioria dos parâmetros da qualidade da água após passar pelo sistema de tratamento.

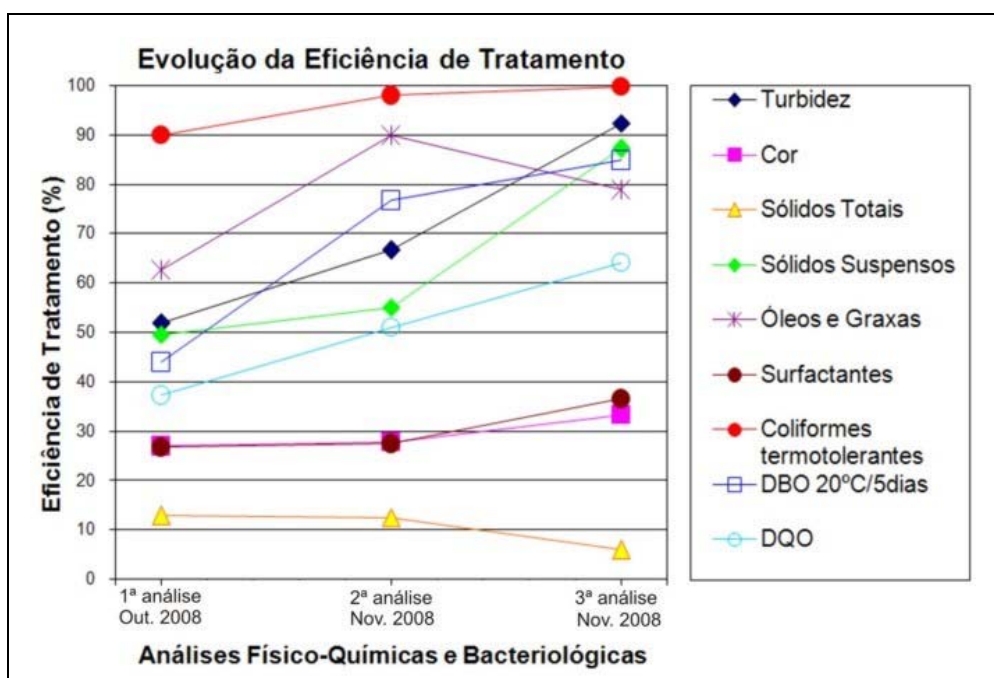


Figura 10: evolução da eficiência do sistema de tratamento durante o período de maturação dos filtros. Fonte: Reis et al (2009).

Ainda na etapa de maturação dos filtros, era possível verificar, visualmente, uma melhora da qualidade da água de reúso, conforme ilustra a Figura 11, onde se compara uma amostra da água cinza retirada da entrada do sistema de tratamento (amostra da esquerda) e, uma amostra retirada do reservatório de armazenamento (amostra da direita).



Figura 11: Comparação visual da água cinza pré e pós-tratamento.

A avaliação dos parâmetros de qualidade da água de reúso continuou sendo feita objetivando-se verificar a eficiência do sistema de tratamento. O período de avaliação durou por um período de cinco meses, conforme ilustra o gráfico da Figura 12, e foi interrompido devido ao rompimento da parede de divisa da câmara que continha brita como elemento filtrante. Com o rompimento da parede divisória do filtro, boa parte da água cinza que chegava ao sistema de tratamento, passava direto da unidade de sedimentação para o reservatório de armazenamento, pulando a etapa de filtração lenta, fazendo com que a qualidade da água que chegasse ao sistema fosse similar ou pior que a água que saísse do mesmo, conforme ilustra o gráfico da Figura 12 ao se observar a análise realizada no dia 25 de fevereiro de 2009.

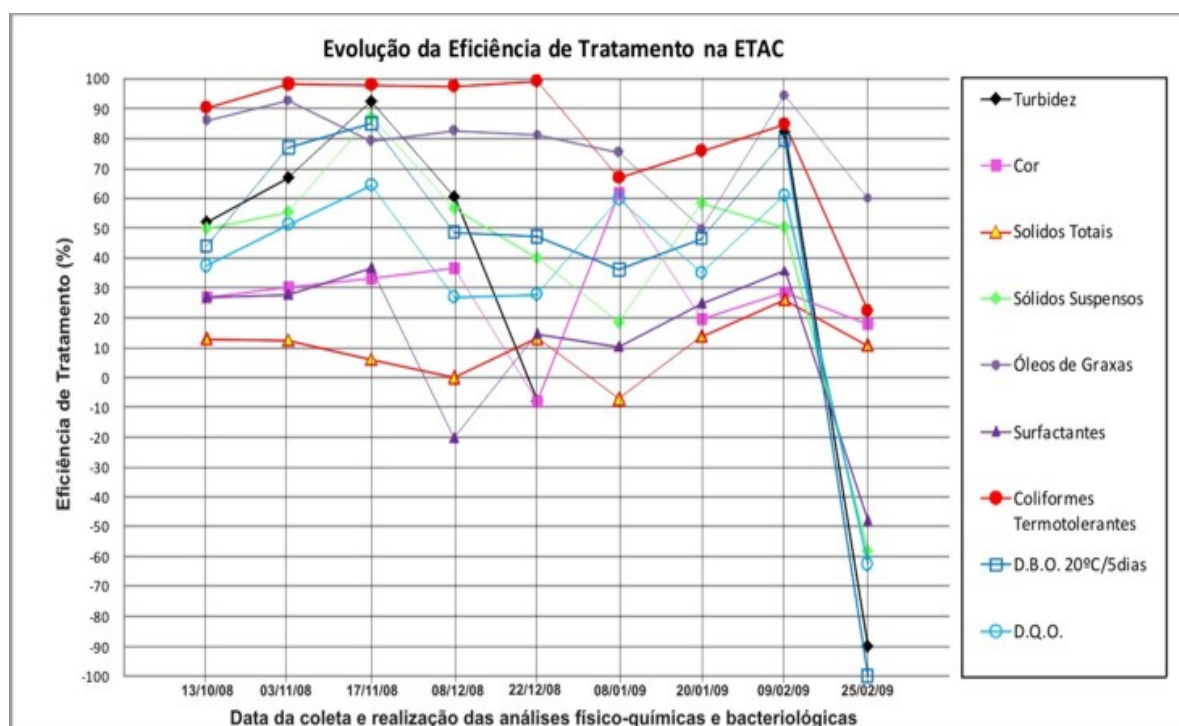


Figura 12: Eficiência do sistema de tratamento durante o período de estudo até o rompimento do filtro.

Apesar do sistema de tratamento ter sido interrompido no quinto mês de funcionamento, as análises de qualidade da água realizadas durante o período de estudo, demonstraram uma razoável eficiência em se tratando de um sistema com tratamento anaeróbico. Comparando os valores médios de entrada e saída do sistema de tratamento, apresentados no Quadro 1, foi possível estabelecer a eficiência de remoção de cada um dos parâmetros avaliados, transcritos no gráfico da Figura 13.



Quadro 1: Medias dos valores de parâmetro de qualidade da água na entrada e na saída do sistema de tratamento de águas cinzas.

Monitoramento entre 13/10/2008 e 09/02/2009

	Entrada	Saída	Unidade	Eficiência (%)
D.B.O. 20°C/5dias	186,6	72,6	mg/L.O ₂	61,09
D.Q.O.	352,7	186,8	mg/L.O ₂	47,04
pH	8,0	8,0		---
Turbidez	103,1	39,9	UNT	61,32
Cor	141,1	94,4	Pt/L	33,10
Oxigênio Dissolvido	0,0	0,8	mg/L O ₂	---
Sólidos Totais	580,0	520,9	mg/L	10,19
Sólidos Totais Voláteis	201,7	137,0	mg/L	32,07
Sólidos Totais Fixos	385,3	373,7	mg/L	3,03
Sólidos Suspensos	85,8	36,4	mg/L	57,58
Nitrogênio Amoniacal Total	8,9	8,6	mg/L N	2,40
Óleos de Graxas	33,6	5,6	mg/L	83,25
Alcalinidade Total	205,7	268,6	mg/L CaCO ₃	-30,56
Nitrogênio Kjeldahl	18,2	18,6	mg/L	-2,36
Surfactantes	5,7	4,3	mg/L LAS	23,92
Fósforo	1,3	1,1	mg/L P	19,13
Condutividade	594,0	554,0	μS/cm	6,73
Temperatura	26,5	26,9	°C	---
Alcalinidade de Bicarbonatos	127,8	235,8	mg/L CaCO ₃	-84,53
Acidez Volátil	90,2	54,2	mg/L CaCO ₃	39,89
Sólidos Sedimentáveis	0,1	0,1	mL/L/h	0,00
Coliformes Termotolerantes	9,56.10 ⁵	1,05.10 ⁵	N.M.P. 100mL	88,97

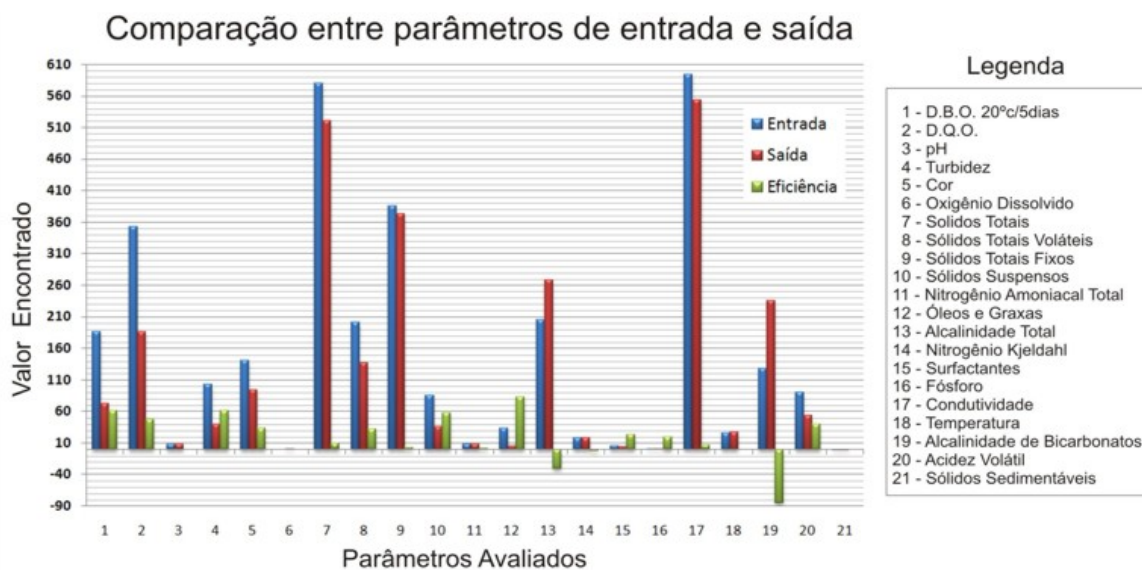
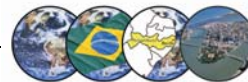


Figura 13: Eficiência obtida por meio da comparação entre os parâmetros de qualidade da água na entrada e na saída do sistema de tratamento.

Com relação ao uso, a água proveniente do sistema de reúso utilizada na irrigação do jardim da residência não ocasionou nenhum tipo de dano às plantas. Quanto ao consumo de energia elétrica devido ao funcionamento de 8 horas diárias da bomba de recirculação de 45W, de 10 horas diárias do sistema de desinfecção UV de 15W e do compressor de ar de 6W, além da bomba do sistema de irrigação de 13W, pode-se dizer que ao se comparar o gasto com energia consumida em relação ao volume de água disponibilizado diariamente para irrigação, foi possível alcançar uma redução de até 31% no custo mensal cobrado pelo somatório dos serviços de água e energia. Por outro lado, se for levado em consideração os custos mensais para monitoramento de padrões avançados da qualidade da água, o valor gasto se mostra muito maior que o benefício econômico gerado.



CONCLUSÕES

A avaliação deste sistema de reúso de águas cinza permite dizer que a maioria dos componentes do sistema executado apresentou bom funcionamento, exceto o sistema de desinfecção U.V. devido à formação de uma camada de biofilme sobre a luva de quartzo que envolve a lâmpada e, do material utilizado na divisória do sistema de filtração, que não obteve um desempenho de resistência adequado, sendo necessário sua substituição por um material mais rígido após cinco meses de funcionamento do filtro.

Quanto ao desempenho de tratamento de águas cinza, apesar do sistema de filtração lenta apresentar valores de eficiência de tratamento adequados para um sistema com funcionamento anaeróbico, a maioria dos parâmetros de qualidade da água de reúso, não atenderam aos critérios mais rigorosos sugeridos por SAUTCHUK *et al* (2005) e U.S.EPA (2004), sendo recomendado a complementação do sistema de filtração com a introdução de unidades de funcionamento aeróbio nas câmaras que encontram-se vazias na unidade de filtração.

Quando avaliado o potencial de conservação de água, o sistema de reúso de águas cinza estudado demonstrou ser capaz de alcançar uma redução de até 31% do custo mensal cobrado pelo somatório dos serviços de água e energia, podendo gerar um volume utilizável de água de reúso de até 4,8 m³/mês.

A utilização da água de reúso para a irrigação de parte do jardim da residência não demonstrou ser agressiva às plantas, sendo possível até notar um melhor em seu desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 13969: *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, 1997.
2. EARTH TRENDS (2007). *DRYLANDS: Projected water supply in major watersheds in drylands, 2025*. WRI. Washington D.C.
3. OLIVEIRA, L. H. *et al*. *Habitação mais sustentável - Levantamento do estado da arte: Água*. Projeto FINEP. São Paulo, SP, 2007, 107 p.
4. REIS, R. P. A. *et al*. *Concepção e avaliação de desempenho de sistema domiciliar de reúso de efluentes secundários constituído por filtração com recirculação e desinfecção por UV*. In: XI Simpósio Nacional de Sistemas Prediais. Curitiba, PR, 17-19 de Junho, 2009.
5. SAUTCHUK *et al* (2005). *Conservação e Reúso de Água em Edificações*. FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.
6. USEPA – U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidelines for water reuse*. Office of Water, Washington, DC, 2004.