

II-073 - DESEMPENHO DE UMA UNIDADE BIOLÓGICA FILTRANTE DE BAIXO CUSTO UTILIZADA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA GERADA EM RESIDÊNCIA RURAL DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE VISANDO REUSO NA AGRICULTURA FAMILIAR

Solange Aparecida Goularte Dombroski⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Mato Grosso. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP). Doutora em Engenharia Civil, área de saneamento, pela Escola Politécnica da USP. Atualmente é professora da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró (UFERSA).

Jucielly Karízia Medeiros da Silva⁽²⁾

Engenheira Agrônoma pela UFERSA. Pós-graduanda em Segurança do Trabalho pela Universidade Potiguar (UnP).

Fábio dos Santos Santiago⁽³⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Especialista em Conservação do Solo e Mestre em Agronomia (Ciências do Solo) pela UFRPE. Doutorando em Engenharia Agrícola (UFRPE). Coordenador técnico do Projeto Dom Helder Camara / Secretaria de Desenvolvimento Territorial - Ministério do Desenvolvimento Agrário e Fundo Internacional para o Desenvolvimento Agrícola.

Felipe Tenório Jalfim⁽⁴⁾

Veterinário pela UFRPE. Mestre e doutorando em Agroecologia (Universidade de Córdoba / Espanha). Coordenador de Planejamento do Projeto Dom Helder Camara - Secretaria de Desenvolvimento Territorial / Ministério do Desenvolvimento Agrário e Fundo Internacional para o Desenvolvimento Agrícola. Vice-presidente NE da Associação Brasileira de Agroecologia.

Endereço⁽¹⁾: Rua Francisco Vidal de Oliveira, 166 – Bairro Presidente Costa e Silva - Mossoró – Rio Grande do Norte - CEP: 59.628-680 - Brasil - Tel: +55 (84) 3312-1206 - e-mail: solangedombroski@ufersa.edu.br.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo geral avaliar o desempenho de uma unidade biológica filtrante de baixo custo para tratamento de água cinza gerada em uma residência localizada na zona rural do município de Olho D'Água do Borges, Rio Grande do Norte, região semiárida brasileira, assim como, discutir parâmetros de qualidade da água cinza visando irrigação. A água cinza gerada na residência em estudo (águas servidas do chuveiro, lavatório, pia de cozinha, tanque e máquina de lavar roupa) era encaminhada por gravidade à unidade biológica filtrante de fluxo descendente. Esta era composta de dois filtros operando em paralelo com área superficial unitária de 1,77 m², preenchidos com duas camadas de material orgânico (húmus e serragem de madeira) e duas camadas de material inorgânico (cascalho e seixo rolado), distribuídas em uma profundidade de 1,0 m. Foram realizadas amostragens (amostras simples) do afluente e efluente à unidade filtrante ao longo de sete meses para determinação de: *Escherichia coli*, ovos de helmintos, turbidez, pH, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), carbono orgânico total (COT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, óleos e graxas (OG), nitrogênio Kjeldahl total (NKT) e nitrogênio total (NT). Verificaram-se valores médios de eficiência de remoção de DQO, DBO, COT e OG de 81, 81, 76 e 93%, respectivamente. A concentração média de *E. coli* ($2,1 \times 10^4$ NMP/100mL) no efluente aos filtros do sistema bioágua familiar I não atendeu à diretriz da OMS para irrigação irrestrita, atendendo para irrigação restrita. O efluente ao filtro apresentou resultados menores do que 1 ovo/L, o que atende a diretriz da OMS para irrigação restrita ou irrestrita, quanto a ovos de helmintos. De modo geral, para uma análise no contexto de reuso para irrigação, outras barreiras de minimização dos riscos, além do tratamento da água cinza, devem ser avaliadas para o sistema em questão.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água cinza, unidade de baixo custo, semiárido, saneamento rural, reuso na agricultura.

INTRODUÇÃO

Entre as diversas águas residuárias geradas por atividades humanas está a água cinza. A água cinza é definida como água residuária, produzida em edificações residenciais, comerciais, públicas, escolas, sem contribuição dos vasos sanitários, o que significa que corresponde à água residuária gerada em banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupa, tanques e pia de cozinha (KIBERT; KONE, 1992 apud BORGES, 2003. ERIKSSON et al., 2002) ou simplesmente, como água residuária de cozinha, banho e/ou lavanderia, a qual geralmente não apresenta concentração significativa de excreta (WHO, 2006a).

De um modo geral, o nível de tratamento que uma água residuária deverá ser submetida está intimamente relacionado à qualidade desejada do efluente tratado, a qual é comumente definida por dispositivos legais. Assim, os critérios de tratamento para reuso agrícola são distintos daqueles estabelecidos para a descarga de efluentes líquidos em corpos de água (HESPAÑOL, 2003). Para reuso agrícola, este autor comentou que é extremamente benéfico que os efluentes tratados contenham concentrações significativas de matéria orgânica e o máximo possível de nutrientes e micronutrientes contidos no esgoto bruto. Ressaltou ainda que para reuso agrícola, os critérios de tratamento devem ser associados à manutenção da DBO até um máximo de, aproximadamente, 100 mg/L (acima do qual ocorrem problemas com a absorção de água pelas raízes das plantas), manutenção de nutrientes e eliminação de organismos patogênicos em níveis estabelecidos pela legislação local, se disponível, ou de acordo com as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS), em caso contrário.

Para o caso de lançamento em corpos d'água, a legislação federal disponível é a Resolução nº357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), alterada e complementada pelas Resoluções nº397/2008 (BRASIL, 2008) e nº 430/2011 (BRASIL, 2011). Estas resoluções estabelecem condições e padrões de lançamento para qualquer fonte poluidora. Em termos de reuso na agricultura, a OMS apresenta diretrizes microbiológicas de qualidade dos efluentes. Especificamente para água cinza a ser usada para irrigação irrestrita, esta deve atender simultaneamente dois critérios (WHO, 2006b): *Escherichia coli* < 10³NMP/100mL, valor flexibilizado para < 10⁴NMP/100 mL para culturas que se desenvolvem distantes do nível do solo ou irrigação por gotejamento e ovos de helmintos < 1ovo/L.

Para Winblad e Simpson-Hébert (2004), o manejo de água cinza em área rural não se apresenta como um problema, pois os volumes são pequenos e a presença de substâncias infecciosas ou perigosas é baixa.

O projeto e operação de sistemas para manejo de água cinza dependem de vários fatores como clima, ocupação do solo, existência de sistemas de drenagem e carga poluidora. Além disso, a escolha do tratamento é influenciada em função de como a água cinza é vista pela comunidade. Assim, o melhor sistema deve ser definido levando em conta as condições locais e riscos potenciais das alternativas (WINBLAD; SIMPSON-HÉBERT, 2004).

No contexto de reuso na agricultura, entre as técnicas de tratamento de água cinza, Werner et al. (2004 apud WHO, 2006b) mencionaram que a infiltração no solo, filtro de cascalho, *wetlands* construídos ou lagoas podem resultar em redução de níveis de patógenos de acordo com as metas baseadas na saúde. Métodos mais complexos tais como lodo ativado, filtro biológico rotativo ou filtração por membranas também podem ser utilizados.

Halalsheh et al. (2008) examinaram três sistemas para tratamento de água cinza em área rural da Jordânia, sendo estes, tanque séptico seguido de filtro de areia intermitente, tanque séptico seguido de *wetland* e reator UASB-híbrido. Este, de acordo com os autores, difere do reator UASB convencional pela introdução de meio filtrante (espuma de poliuretano) na zona de sedimentação do reator. O estudo identificou altas concentrações de DQO, DBO e SST na água cinza bruta, com valores médios de 2.568, 1.056 e 845 mg/L, respectivamente. Os autores concluíram que o reator UASB-híbrido foi a melhor opção para tratamento local da água cinza na área estudada. Mencionaram também que se o reator for operado com descarga regular do lodo, o efluente atenderá o padrão de qualidade daquele país para irrigação de árvores frutíferas (irrigação restrita).

Ainda com relação a tratamento de água cinza, entretanto, não em área rural, pode-se citar o estudo realizado por May (2009). Neste estudo, água cinza clara (águas servidas de lavatórios, chuveiros e máquina de lavar roupas) foi submetida a tratamento biológico aeróbio, utilizando-se reator biológico de contato, também

chamado de biodisco. A autora verificou concentrações médias de DQO, DBO e SST na água cinza clara bruta de 249, 150 e 68 mg/L, respectivamente. Para o efluente ao biodisco, as concentrações médias resultaram em 34, < 10 e 5 mg/L, respectivamente. Tais resultados indicaram eficiências médias de remoção de 86% para DQO, 93% para DBO e 93% para SST.

Bazzarella (2005) utilizou um sistema constituído de reator anaeróbio compartimentado, seguido de filtro biológico aerado submerso, filtração terciária e desinfecção a base de cloro, para tratamento de água cinza visando o reuso em vasos sanitários. No estudo foram verificadas remoções de 74% para DQO em reator anaeróbio compartimentado e 74% no filtro biológico aerado submerso. Para DBO, a remoção foi 69% no reator anaeróbio compartimentado e de 90% no filtro biológico aerado submerso. Já, para SST, a remoção foi de 72% no reator anaeróbio compartimentado, sendo que o polimento no filtro biológico aerado submerso apresentou eficiência de 95%. Na pesquisa de Bazzarella (2005), a água cinza bruta (águas servidas de lavatório, chuveiro, tanque, máquina de lavar roupa e pia de cozinha) apresentou concentrações médias de 498 mg/L para DQO, 283 mg/L para DBO e 12 mg/L para SST.

Diversos exemplos exitosos de programas de uso mais eficiente da água disponível mostraram que é possível racionalizar o uso da água antes de racionalizá-la (REBOUÇAS, 2001). Assim, o uso racional de água na agricultura, o qual pode incluir o reuso, deve também ser considerado em escala de agricultura familiar. Parte do semiárido brasileiro encontra-se nas regiões hidrográficas Atlântico Nordeste Oriental e Parnaíba, as quais apresentam as menores disponibilidades hídricas, 91 e 305 m³/s, respectivamente (ANA, 2010). Para esta região, torna-se mais evidente a necessidade do uso eficiente da água de modo a se obter mais desenvolvimento com menos uso de água.

O uso de esgotos tratados é uma prática indicada não somente para regiões áridas e semiáridas, como também para outros locais onde há carência de água, apresentado as seguintes vantagens (MOTA et al., 2007): aumento da oferta de água; suprimento de água durante todo o ano, uma vez que constantemente são produzidos esgotos; possibilidade de se utilizar a água disponível para fins que demandem uma água de melhor qualidade, como o abastecimento humano por exemplo; evita-se o lançamento de efluentes em cursos d'água com vazões pequenas ou nulas, reduzindo-se os riscos de poluição; aproveitamento dos nutrientes existentes no esgoto, diminuindo, ou mesmo eliminando, o uso de fertilizantes artificiais; adição de matéria orgânica contida no esgoto, ao solo, contribuindo para sua conservação e prevenção de erosão; contribui para o aumento da produção de alimentos, quando usado em irrigação ou piscicultura, resultando em benefícios econômicos e sociais; aumento de áreas verdes, de parques e de campos de esporte.

Nesse sentido, WHO (2006a) mencionou que o uso de esgoto doméstico na agricultura pode ajudar comunidades a produzir mais alimentos e conservar os recursos de água e nutriente.

Por outro lado, como desvantagens do reuso de águas, podem ser enumeradas (MOTA et al., 2007): a rejeição da população a essa prática, por desconhecimento de que é possível utilizá-la com segurança, ou devido a resistências de natureza cultural; riscos de contaminação ambiental; riscos de transmissão de doenças aos trabalhadores, manipuladores e consumidores de produtos gerados a partir de águas de reuso; possibilidade de alterações nas características do solo, como por exemplo, salinização, como consequência do reuso em irrigação; possíveis danos às culturas, devido à presença de alguns compostos nas águas de reuso usadas em irrigação.

Quanto ao reuso de águas cinza, Lira (2003) apud Mota et al. (2007) comentou que tem sido uma prática adotada em vários países, principalmente no Japão, Singapura e Estados Unidos. Outros usos aplicados e/ou sugeridos para águas cinza são: na Alemanha, tem sido utilizado com sucesso o reuso de água cinza originada de chuveiro, para descarga de vasos sanitários (ERIKSSON et al., 2002); águas cinza podem ser utilizadas para irrigação de gramados em escolas, de campos de esportes, cemitérios, parques, campos de golfe e jardins domésticos (OKUN, 1997 apud ERIKSSON et al., 2002); lavagem de veículos e janelas, proteção contra incêndios, produção de concreto (OKUN, 1997. SANTAL et al., 1998, ambos apud ERIKSSON et al., 2002); uso na agricultura, que, segundo WHO (2006a), é crescente tanto em países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Na agricultura, os principais motivos do crescente uso de excretas e águas cinza são (WHO, 2006b): crescente escassez de água e degradação de fontes de água doce resultante de disposição inadequada de águas

residuárias, excretas e águas cinza; aumento da população com consequente aumento da demanda por alimentos e fibras; reconhecimento crescente do valor de excretas como fonte de nutrientes; os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, especialmente os objetivos para assegurar a sustentabilidade ambiental e eliminar a pobreza e a fome.

Contudo, pode haver problemas relacionados ao reuso de águas cinza não tratadas. O risco de disseminar doenças devido à exposição de microrganismos na água deve ser um ponto crucial a ser considerado se houver intenção de reuso para descarga de vasos sanitários ou irrigação (ERIKSSON et al., 2002). Em um levantamento de dados a cerca das características de água cinza, Eriksson et al. (2002) comentaram que (i) em geral, água cinza contém concentrações de compostos orgânicos e nutrientes inferiores ao esgoto doméstico global pois não estão incluídos urina, fezes e papel higiênico; (ii) as concentrações de metais pesados estão na mesma faixa de concentração; (iii) o estudo identificou 900 diferentes compostos orgânicos provenientes de, por exemplo, produtos químicos utilizados nas residências para cuidados pessoais e limpeza.

No contexto de irrigação utilizando água cinza, é importante o levantamento de aspectos sanitários, agrônômicos e ambientais. Os aspectos sanitários estão relacionados à presença, na água a ser utilizada para irrigação, de organismos patogênicos, visando à proteção dos agricultores, consumidores (para culturas a serem consumidas) e público em geral (no caso de, p. ex., irrigação de campos de esporte, parques e jardins). Os aspectos agrônômicos se referem ao balanço entre a demanda e a oferta de água e nutrientes, a fim de evitar a aplicação insuficiente ou em excesso de nutrientes, o que implica na produtividade das culturas irrigadas. Quanto aos aspectos ambientais, Mota e Rocha (2007) citaram vários impactos sobre o meio ambiente relacionados ao uso de esgotos tratados: alterações nas características do solo, como consequência do reuso em irrigação, enumerando-se, como exemplo, a salinização do mesmo ou a alteração de sua permeabilidade; poluição de águas subterrâneas, como resultado da aplicação de esgotos no solo ou em recarga de aquíferos, carreando produtos químicos como os nitratos, metais pesados e outros; poluição de águas superficiais, pelo carreamento de poluentes do solo ou pelo lançamento do excesso de águas residuárias não reusadas na irrigação (em períodos chuvosos, por exemplo), pelo lançamento de esgoto não tratado em corpos d'água, por efluentes de tanques de aquicultura, etc; dispersão de aerossóis resultantes da irrigação por aspersão ou de sistemas de resfriamento, os quais podem alcançar áreas adjacentes; toxicidade às plantas causada por alguns constituintes presentes na água de reuso ou adicionados ao solo por meio de sua aplicação.

Assim, considerando que as águas cinza tratadas são apontadas como fontes alternativas de água e nutrientes para a agricultura, é fundamental a definição de manejo adequado para produção de culturas além de visar a segurança de trabalhadores e consumidores dos produtos gerados. Este trabalho teve por objetivo geral, avaliar o desempenho de uma unidade biológica filtrante de baixo custo para tratamento de água cinza gerada em uma residência localizada na zonal rural do município de Olho D'Água do Borges, Rio Grande do Norte, região semiárida brasileira, assim como discutir parâmetros de qualidade da água cinza visando irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O Rio Grande do Norte (RN) é o sétimo estado em área no Nordeste. Apresenta uma localização estratégica no segmento oriental do Nordeste Brasileiro, entre os paralelos 4°49'53" e 6°58'57" de latitude sul e os meridianos de 34°58'06" e 38°34'54" de longitude a oeste de Greenwich. É o Estado do Nordeste com maior proporção de área semiárida, com 93,4% dos 53.077 km² da sua área total (NEVES et al., 2011). O Estado tem 167 municípios e sua população em 2010 era de 3.168.027 habitantes (IBGE, 2010b).

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) mostrou que de 242 domicílios pesquisados em área rural do Rio Grande do Norte, 11 não tinham esgotamento sanitário e 220 tinham com as seguintes variações: 11 com rede coletora; 10 com fossa séptica ligada à rede coletora; 44 com fossa séptica não ligada à rede coletora; 151 com fossa rudimentar e 4 com outro (IBGE, 2009).

Olho D'Água do Borges é um dos municípios que está localizado em região semiárida do Rio Grande do Norte (MMA, 2004). Possui uma área de 141 km² e sua população em 2010 era de 4.295 habitantes (IBGE, 2010a).

A pesquisa foi realizada a partir da implantação de um sistema denominado de bioágua familiar I, na residência do sítio São Geraldo, localizado a seis quilômetros da sede do município de Olho D'Água do Borges, Território do Apodi, RN.

Descrição da unidade biológica filtrante de baixo custo utilizada para tratamento da água cinza

Na residência rural onde foi implantado o sistema bioágua familiar I, havia sistema de coleta da água cinza com origem nas águas servidas do chuveiro, lavatório, pia de cozinha, tanque e máquina de lavar roupa. A água cinza era encaminhada por gravidade à unidade biológica filtrante de fluxo descendente composta de dois filtros operando em paralelo com área superficial unitária de 1,77 m², preenchidos com duas camadas de material orgânico (húmus e serragem de madeira) e duas camadas de material inorgânico (cascalho e seixo rolado), distribuídas em uma profundidade de 1,0 m. Na camada do húmus, durante a partida do sistema, houve acréscimo de uma população de 1 kg de minhoca *Eisenia foetida*. A Figura 1 mostra vistas da construção e preenchimento de um filtro.

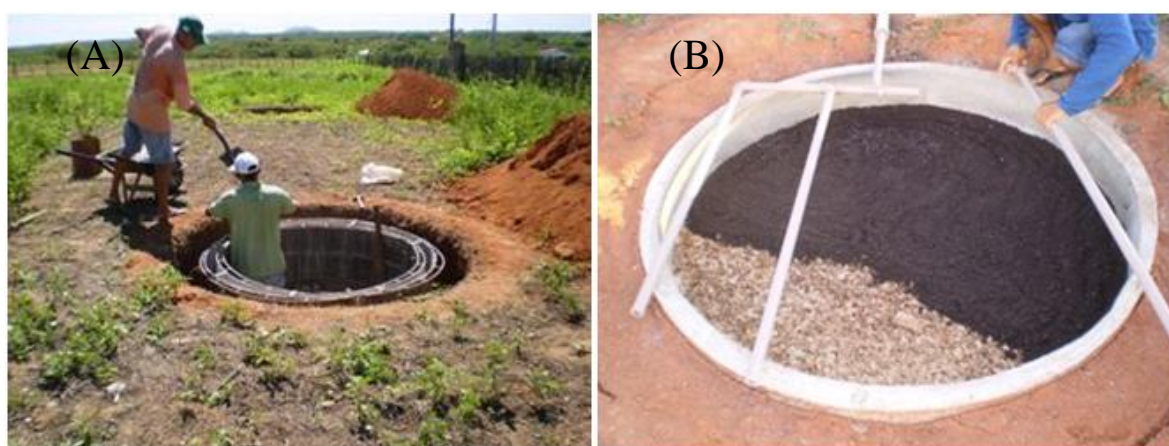


Figura 1 - Vistas da construção (A) e do preenchimento da última camada (húmus de minhoca) de um filtro além da tubulação perfurada para distribuição da água cinza (B) em um sistema bioágua familiar instalado em área rural de Olho D'Água do Borges, Rio Grande do Norte.

Desenvolvimento do estudo

Para monitoramento da unidade de filtração, foram realizadas 11 amostragens (amostras simples) do afluente e efluente a esta, ao longo de sete meses. A amostragem foi realizada para caracterização físico-química e microbiológica quanto aos seguintes parâmetros: *Escherichia coli*, ovos de helmintos, turbidez, pH, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), carbono orgânico total (COT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, óleos e graxas (OG), nitrogênio Kjeldahl total (NKT) e nitrogênio total (NT). A coleta e preservação das amostras foram de acordo com as recomendações da Clesceri et al. (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A unidade biológica filtrante operou com uma taxa de aplicação superficial média (TAS_{filtro}) de 0,187 m³/m².d (dados não apresentados neste estudo). A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para DQO, DBO, COT e OG.

Na primeira amostragem foram observadas concentrações superiores no efluente (2.470, 1.984 e 1.460 mg/L para DQO, DBO e COT, respectivamente) em relação ao afluente (1.280, 560 e 579 mg/L para DQO, DBO e COT, respectivamente) aos filtros para DQO, DBO e COT. Possivelmente, algum e/ou alguns dos componentes do meio filtrante (serragem, húmus de minhoca, minhocas) tenham contribuído para aumento de tais concentrações, já que a operação com os dois filtros em paralelo iniciou apenas 5 dias antes desta amostragem. Nas demais amostragens, houve remoção destes parâmetros. Para OG, a concentração do efluente

sempre foi inferior ao do afluente. Entretanto, também é possível que o sistema só tenha atingido o estado estacionário ("steady state"), após, aproximadamente, dois a três meses de sua partida, como indicaram os resultados de concentrações efluentes de DQO, DBO, COT e OG, que apresentaram menor variação (DQO: 5 a 212 mg/L; DBO: 2 a 99 mg/L; COT: 2 a 106 mg/L; OG: menor do que 1 a 3 mg/L), a partir do 85º dia da partida (terceira amostragem).

Tabela 1 – Características da água cinza bruta e tratada pelos filtros do sistema bioágua familiar I e respectivas eficiências de remoção, em termos de DQO, DBO, COT e OG

Estatística	DQO (mgO ₂ /L)		DBO (mgO ₂ /L)		COT (mg/L)		OG (mg/L)		Eficiência de remoção (%)			
	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	DQO	DBO	COT	OG
Maior valor	2.370	405	1.173	184	579	152	177	4	99,8	99,7	99	99
Menor valor	331	<5	135	<2	118	2	7	<1	38	27	10	57
Nº de dados	11	10	11	10	11	10	11	11	10	10	10	11
Média	1.222	149	546	66	295	47	65	2	81	81	76	93
Desvio padrão	649	112	310	51	142	47	47	1	18	21	28	12

Nota: Valores em itálico: indicação de valor e cálculo realizados desconsiderando os valores referentes à primeira coleta.

Desconsiderando os resultados referentes à primeira coleta, as concentrações médias efluentes de DQO, DBO, COT e OG resultaram em 149, 66, 47 e 2 mg/L, respectivamente, correspondendo a eficiências médias de remoção de 81, 81, 76 e 93% respectivamente. Comparando-se com os resultados obtidos por May (2009), o sistema biológico utilizado pela autora (sistema biológico aeróbio: reator biológico de contato, também conhecido por biodisco) apresentou maior eficiência média de remoção de DQO (86%), DBO (93%) e COT (85%), tratando água cinza clara (originada do lavatório, chuveiro e máquina de lavar roupa). Já, para OG, a eficiência média (93%) apresentada pelo filtro do sistema bioágua foi superior ao valor observado por May (2009) de 56%, cuja concentração média no efluente ao biodisco foi de 24 mg/L. Vale ressaltar que a água cinza clara bruta estudada por May (2009) apresentou concentrações médias (249, 150 e 83 mg/L para DQO, DBO e COT, respectivamente) bastante inferiores àquelas verificadas no presente estudo (ver Tabela 1). Esses valores evidenciam a influência de diversos fatores na qualidade da água cinza a saber, a origem (águas servidas de lavatórios, chuveiros, banheiras, máquinas de lavar roupas, tanques, pia de cozinhas, separadas ou misturadas), fatores climáticos, disponibilidade de água na residência, costumes, poder aquisitivo, entre outros. Com relação à qualidade da água cinza, Halalsheh et al. (2008) comentaram que, aparentemente, devido ao consumo *per capita* de água muito baixo (valor médio de 14L/pessoa.dia), a água cinza na área estudada (região rural da Jordânia) apresentou concentrações muito altas de DQO, DBO e SST (2.568, 1.056 e 845 mg/L, respectivamente). Para este sistema, os referidos autores mencionaram uma eficiência esperada de remoção de DQO entre 70 e 90%.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com relação a SDT, SST e turbidez da água cinza afluente e efluente à unidade filtrante.

Tabela 2 – Características da água cinza bruta e tratada pelos filtros do sistema bioágua familiar I e respectivas eficiências de remoção, em termos de SDT, SST e turbidez

Estatística	SDT (mg/L)		SST (mg/L)		Turbidez (uT)		Eficiência de remoção (%)		
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	SDT	SST	Turbidez
Maior valor	711	1.733	3.821	75	5.240	205	28	99.8	99
Menor valor	352	352	105	< 2	95	3	-186	88	20
Nº de dados	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Média	580	686	661	15	1133	57	-21	97	85
Desvio Padrão	130	369	1080	25	1495	70	62	4	25

A concentração média de SDT no efluente resultou em 686 mg/L. Em esgoto doméstico bruto, este parâmetro varia de 250 a 850 mg/L (METCALF & EDDY, 1991). Segundo Blum (2003), concentrações de SDT entre 500 e 1000 mg/L podem afetar plantas sensíveis. O autor comentou que teores excessivos de sais dissolvidos podem resultar em redução da pressão osmótica do solo, que diminui a absorção de água pela planta, em aumento na toxicidade de íons específicos e na degradação das características físicas do solo.

Observou-se que, a partir da terceira amostragem (do 85º dia da partida), a unidade biológica filtrante apresentou sistematicamente efluente com concentrações de SST iguais ou inferiores a 13 mg/L e a turbidez variou de 7 a 44 UNT, com exceção da 10ª coleta. Os valores de SST são comparáveis aos típicos de sistemas de disposição de esgoto no solo do tipo infiltração lenta e rápida (qualidade média do efluente: SST < 20 mg/L), segundo Von Sperling (2005) apud Dos Santos e Da Silva (2007). No estudo desenvolvido por May (2009), foi verificada concentração média no efluente ao biodisco, tratando água cinza clara, de 5 mg/L para SST. Em água de irrigação, recomenda-se concentração máxima de 30 mg/L de SST pois o excesso de sólidos em suspensão pode causar entupimento de orifícios em equipamentos de aspersão e gotejamento, danos a sistemas de bombeamento etc (USEPA, 1999; CROOK, 1993, apud BLUM, 2003). As partículas que causam a turbidez podem aumentar a possibilidade de doenças transmitidas pela água já que as mesmas podem abrigar microrganismos e podem estimular o crescimento de bactérias (HOKO, 2005 apud MUTENGU et al., 2007).

Considerando os resultados de turbidez no efluente a partir da terceira amostragem (85º dia da partida), observou-se variação de 7 a 44 UNT, com exceção da penúltima coleta (197º dia da partida). Para a água cinza clara estudada por May (2009) foram verificados valores médios de 68 e 2 UNT para o afluente e efluente ao biodisco.

Na Tabela 3, são apresentados resultados relativos a nitrogênio total (NT), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo total e pH. Os valores correspondentes a NT foram iguais aos de NTK, indicando ausência de nitrogênio na forma de nitrato e nitrito, tanto na água cinza bruta quanto no efluente ao filtro. Esses resultados são típicos de sistemas sem capacidade de nitrificação. Para NTK foram observadas concentrações médias de 24 e 10 mg/L para a água cinza bruta e filtrada, respectivamente. No estudo de May (2009), verificaram-se valores médios de NTK de 17,4 e 6,4 mg/L para a água cinza clara bruta e tratada pelo biodisco, respectivamente.

Tabela 3 – Características da água cinza bruta e tratada pelos filtros do sistema bioágua familiar I, em termos de fósforo total, NT, NTK e pH

Estatística	Fósforo total (mg/L)		NT (mg/L)		NTK (mg/L)		pH	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Maior valor	25,0	4,7	73,6	18,6	73,6	18,6	7,2	7,00
Menor valor	< 1,0	< 1,0	4,3	3	4,3	3	5,4	5,70
Nº de dados	11	11	11	11	11	11	11	11
Média	6,5	2,3	24,5	10,4	24,5	10,4	-	-
Desvio Padrão	7,1	1,4	24,0	4,6	24,0	4,6	-	-

Na água cinza bruta, observou-se concentração média de fósforo total de 6,5 mg/L, valor este na faixa típica para esgoto sanitário (4 a 15 mg/L: METCALF & EDDY, 1991). A concentração média de fósforo total no efluente foi de 2,3 mg/L. De acordo com Blum (2003), o fósforo é outro nutriente importante na agricultura, e seus teores em águas recuperadas de esgotos municipais geralmente não atendem às necessidades das plantas, exigindo, portanto, uma suplementação.

Em água de irrigação, recomenda-se valores de pH entre 6,0 e 8,5 (USEPA, 1999; CROOK, 1993, apud BLUM, 2003). Os valores observados de pH no efluente do filtro estiveram na faixa recomendada, exceto para o primeiro dia de coleta.

Na Tabela 4, apresentam-se os resultados verificados para *Escherichia coli* e ovos de helmintos. Para a água cinza bruta, a variação de *E. coli* observada (10^5 a 10^9 NMP/100mL) foi maior do que aquela apresentada por Bastos et al. (2003) para esgoto sanitário (10^6 a 10^8 NMP/100mL). Para ovos de helmintos, os referidos autores mencionaram valores entre 10 e 10^3 ovos/L, sendo observados na água cinza estudada, valores entre menor do que 1 a 109 ovos/L. Disso, infere-se que a utilização de água cinza em irrigação envolve riscos à saúde, entendendo-se ser fundamental o atendimento às diretrizes da OMS para uso deste tipo de água na agricultura.

Tabela 4 – Características da água cinza bruta e tratada pelos filtros do sistema bioágua familiar I, em termos de *Escherichia coli* e ovos de helmintos

Estatística	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		Ovos de helmintos (ovo/L)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Maior valor	1,4 E + 09	8,4 E + 05	109	< 1
Menor valor	2,9 E + 05	3,1 E + 02	< 1	< 1
Nº de dados	11	11	11	10
Média	9,0 E + 06	2,1 E + 04	12	< 1
Desvio Padrão	4,2 E + 08	2,5 E + 05	32	0

May (2009) observou concentração média de coliformes termotolerantes de $6,3 \times 10^3$ UFC/100mL para a água cinza clara bruta. No efluente ao sistema de tratamento, a autora observou um valor médio de 9 UFC/100 mL.

Em relação a riscos reais e potenciais à saúde em função do uso de esgotos sanitários em irrigação, Bastos et al. (2003), mencionaram que se trata inevitavelmente em perigo ou fator de risco. Porém, a simples presença de agente infeccioso nos efluentes utilizados para irrigação não implica necessariamente a certeza da transmissão de doenças, caracterizando apenas um risco potencial.

Em relação a ovos de helmintos, cabe mencionar que Shuval et al. (1986) apud Bastos et al (2003) atribuíram alto risco (dentro de uma classificação de baixo, médio e alto risco) à irrigação com esgotos sanitários.

Para o efluente do filtro, as dez amostragens realizadas, apresentaram resultados menores do que 1 ovo/L, o que atende a diretriz da OMS para irrigação restrita ou irrestrita (< 1 ovo/L: WHO, 2006b).

A concentração média de *E. coli* ($2,1 \times 10^4$ NMP/100mL) no efluente aos filtros do sistema bioágua familiar I não atendeu à diretriz da OMS para irrigação irrestrita ($< 10^3$ NMP/100 mL, podendo ser flexibilizado para $< 10^4$ NMP/100 mL: WHO, 2006b). Para irrigação restrita, o valor médio verificado no efluente atendeu à diretriz da OMS ($< 10^5$ NMP/100 mL, podendo ser flexibilizado para $< 10^6$ NMP/100 mL: WHO, 2006b).

Com os dados apresentados na Tabela 5, observa-se que a unidade filtrante avaliada neste estudo apresentou eficiências médias de remoção de DQO, DBO, SST, *E coli* e ovos de helmintos comparáveis às típicas obtidas em reator UASB seguido de escoamento superficial para esgoto doméstico, de acordo com Von Sperling (2005 apud DOS SANTOS; DA SILVA, 2007).

Tabela 5 – Comparação do desempenho da unidade filtrante estudada para tratamento de água cinza com reator UASB seguido de escoamento superficial tratando esgoto doméstico

Parâmetro	Valor médio da	Bioágua familiar I	Reator UASB seguido de escoamento superficial*
DQO	Concentração efluente (mg/L)	149	90 – 180
	Eficiência de remoção (%)	81	70 – 85
DBO	Concentração efluente (mg/L)	66	30 – 70
	Eficiência de remoção (%)	81	77 – 90
SST	Concentração efluente (mg/L)	15	20 – 40
	Eficiência de remoção (%)	97	80 – 93
<i>Escherichia coli</i>	Concentração efluente** (NMP/100mL)	$2,1 \times 10^4$	$10^4 - 10^6$
	Eficiência de remoção (unidades logarítmicas)	2	2 – 3
Ovos de helmintos	Concentração efluente (ovo/L)	< 1	< 1

*Para esgoto doméstico segundo Von Sperling (2005 apud DOS SANTOS; DA SILVA, 2007). **Média geométrica para NMP/100 mL.

CONCLUSÕES

De maneira geral, para uma análise no contexto de reuso na agricultura familiar, entende-se que outras barreiras de minimização dos riscos, além do tratamento da água cinza, devem ser avaliadas para o sistema em questão. A unidade filtrante avaliada neste estudo apresentou eficiências médias de remoção de DQO, DBO, SST, *E. coli* e ovos de helmintos comparáveis às típicas obtidas em reator UASB seguido de escoamento superficial para esgoto doméstico, de acordo com Von Sperling (2005 apud DOS SANTOS; DA SILVA, 2007). O monitoramento da unidade de tratamento de água cinza estudada permitiu as seguintes conclusões:

- Foram observadas eficiências médias de remoção de DQO, DBO e COT de 81, 81 e 76%, respectivamente;
- O filtro apresentou ótima capacidade de remoção de OG, cujas concentrações no efluente daquele variaram de < 1 a 4 mg/L e no afluente, foi verificada concentração média de 65 mg/L;
- Na maior parte do tempo de operação, o efluente à unidade biológica filtrante apresentou concentração de SST ≤ 13 mg/L, o que está abaixo da concentração máxima recomendada para uso em irrigação, por exemplo, por gotejamento;
- Considerando os valores médios, observou-se uma redução de duas unidades logarítmicas da concentração de *E. coli* na água cinza tratada pelo filtro em questão;
- A concentração média de *E. coli* ($2,1 \times 10^4$ NMP/100mL) no efluente aos filtros do sistema bioágua familiar I não atendeu à diretriz da OMS para irrigação irrestrita ($< 10^3$ NMP/100 mL, podendo ser flexibilizado para $< 10^4$ NMP/100 mL: WHO, 2006b). Para irrigação restrita, o valor médio verificado no efluente atendeu à diretriz da OMS ($< 10^5$ NMP/100 mL, podendo ser flexibilizado para $< 10^6$ NMP/100 mL: WHO, 2006b);
- Para o efluente do filtro, as dez amostragens realizadas, apresentaram resultados menores do que 1 ovo/L, o que atende a diretriz da OMS para irrigação restrita ou irrestrita (< 1 ovo/L: WHO, 2006b).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); ENGECORPS/COBRAPE. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Brasília: ANA, ENGECORPS/COBRAPE, 2010. V.1.
2. BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; ANDRADE NETO, C. O. DE; VON SPERLING, M. Utilização de esgotos tratados em irrigação - aspectos sanitários. In: **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. BASTOS, R. K. X. (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. Cap.2.
3. BAZZARELLA, Bianca Barcellos. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005. 165 p.
4. BLUM, José Roberto Coppini. Critérios e padrões de qualidade de água. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; DOS SANTOS, Hilton Felício (Editores). **Reuso de água**. Barueri: Manole, 2003. cap.5.

5. BORGES, Luciana Zabroki. **Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2003. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.
6. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n° 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, e dá outras providências. In: Brasil. MMA. CONAMA. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Edição especial. Brasília: MMA, 2012.
7. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n° 397, de 03 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA n° 357, de 2005, que 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. In: Brasil. MMA. CONAMA. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Edição especial. Brasília: MMA, 2012.
8. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. In: Brasil. MMA. CONAMA. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Edição especial. Brasília: MMA, 2012.
9. CLESCERI, L. S. GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. (Eds.) **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington (DC): APHA, 1998.
10. DOS SANTOS, André Bezerra; DA SILVA, Marcos Erick Rodrigues. Tecnologias de tratamento de esgoto. In: MOTA, Suetônio; AQUINO, Marisete Dantas de; SANTOS, André Bezerra dos (Organizadores). **Reúso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia, 2007. cap. 2.
11. ERIKSSON, Eva; AUFFARTH, Karina; HENZE, Mogens; LEDIN, Anna. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**. v.4, 2002.
12. HALALSHEH, M.; DALAHMEH, S.; SAYED, M.; SULEIMAN, W.; SHAREEF, M.; MANSOUR, M.; SAFI, M. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. **Bioresource Technology**, n. 99, 2008. P. 6635-6641.
13. HESPAÑHOL, Ivanildo. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; DOS SANTOS, Hilton Felício (Editores). **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. cap.3
14. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censos demográficos 2010. **Cidades@**. Rio Grande do Norte. Mossoró. **Censo demográfico 2010**: características da população e dos domicílios: resultados do universo. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 24 mar. 2012 (IBGE, 2010a).
15. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censos demográficos 2010. **Estados@**. Rio Grande do Norte. **Censo demográfico 2010**: características da população e dos domicílios: resultados do universo. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rn>>. Acesso em: 24 mar. 2012 (IBGE, 2010b).
16. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa nacional por amostra de domicílios. Brasil 2009. **Tabelas completas**. Unidades da Federação. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009/brasil_defaultzip_unidades.shtm. Acesso em: 26 jul. 2012.
17. MAY, Simone. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 222 p.
18. METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3 ed. Mc Graw Hill, 1991. 1334p.
19. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca PAB-Brasil**. 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/arquivos/pan_brasil_portugues.pdf>. Acesso em: 21 set. 2012.
20. MOTA, Suetônio; AQUINO, Marisete Dantas de; SANTOS, André Bezerra dos. Reúso de águas: conceitos; importância; tipos. In: MOTA, Suetônio; AQUINO, Marisete Dantas de; SANTOS, André

- Bezerra dos (Organizadores). **Reúso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia, 2007. cap. 1.
21. MOTA, Suetônio; ROCHA, Érika da Justa Teixeira. Aspectos sanitários e ambientais do reúso de água. In: MOTA, Suetônio; AQUINO, Marisete Dantas de; SANTOS, André Bezerra dos (Organizadores). **Reúso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia, 2007. cap. 3.
 22. MUTENGU, S.; HOKO, Z.; MAKONI, F. S. An Assessment of the public health hazard potencial of wastewater reuse for crop production. A case of Bulawayo city, Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, n. 32, 2007. P. 1195-1203.
 23. NEVES, J. A.; MELO, S. de b.; SAMPAIO, E. V. de S. **Análise pluviométrica do Rio Grande do Norte**. Período: 1963-2009. Natal: EMPARN, 2011. 71 p. – (Documentos: 39).
 24. REBOUÇAS, Aldo da C. Água e desenvolvimento rural. **Estudos avançados**, v.15, n.43, 2001, p. 327-344.
 25. WINBLAD, Uno; SIMPSON-HÉBERT, Mayling (Ed.). **Ecological sanitation**. 2nd. Edition. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2004.
 26. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and graywater**. Wastewater use in agriculture. v.II. Geneva: World Health Organization, 2006a.
 27. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and graywater**. Excreta and greywater use in agriculture. v.IV. Geneva: World Health Organization, 2006b.