

Tratamento de águas cinzas claras para reúso não potável em edificações

Simone May
Ivanildo Hespanhol

RESUMO: O reúso de águas cinzas aplicado para fins não potáveis vem ao encontro das premissas de sustentabilidade e do conceito de conservação de água. Sistemas de reúso de águas cinzas adequadamente concebidos devem seguir quatro critérios básicos: segurança higiênica, estética, proteção ambiental e viabilidade técnica e econômica. As águas cinzas, quando devidamente tratadas, podem ser utilizadas para consumo não-potável em edificações como, por exemplo, descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos e pátios, lavagem de calçadas, irrigação de jardins, usos ornamentais como espelhos d'água e chafarizes, desde que sua utilização não proporcione riscos à saúde de usuários. Este trabalho objetiva o tratamento das águas cinzas para reúso não potável em edificações. Foi abordada, neste trabalho, a caracterização e o tratamento das águas cinzas claras, isto é, as águas residuárias oriundas de chuveiros, de lavatórios e de máquina de lavar roupas. O sistema de tratamento de águas cinzas claras utilizado na pesquisa consta de tanque de equalização, reator biológico de contato, reservatório de decantação, filtro de areia de pressão e sistema de desinfecção com cloro. Alguns dos parâmetros analisados durante o período de monitoramento do sistema de tratamento de águas cinzas claras obtiveram uma redução bastante significativa, por exemplo: cor - 95,1%; turbidez - 98,2%; SST - 94,1%; DBO - 93,4%; DQO - 86,3%; COT - 84,9%; Coliformes termotolerantes - 99,8% e Coliformes totais - 97,8%. Durante os ensaios foi mantido um residual mínimo e máximo de cloro de 0,8 - 1,7 mg/L. Baseado nos resultados das análises realizadas e nos resultados obtidos com o tratamento das águas cinzas claras, seus usos para fins não potáveis são considerados adequados e devem ser estimulados.

PALAVRAS-CHAVE: águas cinzas claras; conservação de água; qualidade de água; reúso de água; tratamento de água.

ABSTRACT: The reuse of greywater for non potable uses meets the premises of sustainability and the concept of water conservation. Properly conceived greywater reuse systems should follow four basic criteria: hygienic reliability, aesthetics, environmental protection and technical/economic feasibility. The greywater, when properly treated, can be used for consumption at buildings, for non potable purposes such as flushing toilet bowls, floors and backyards cleaning, garden irrigation, ornamental uses as in water mirrors and water fountains as long as its use avoid any risk to users' health. This paperwork aims to the greywater treatment for non portable applications in buildings. It discusses the characterization and the treatment of light greywater, which means, the water from showers, sink bowls and washing machines. The treatment system used in the research was made of an equalization tank, a CBR, a settling tank, a pressure sand filter and a chlorine application system for disinfection. Some of the parameters analysed during the monitoring period of the greywater treatment system, achieved a significant reduction as, for example: color: - 95.1%; turbidity: - 98.2%; TSS: - 94.1%; BOD: - 93.4%; COD: - 86.3%; TOC: - 84.9%; Thermotolerants Coliforms: - 99.8%; e Total Coliforms: - 97.8%. During the analysis, the residual chloride was kept on 0.8 to 1.7 mg/L range. Based on the gathered data and treatment performance, its uses for non potable applications was found adequate and it should be stimulated.

KEYWORDS: greywater; water conservation; water quality; water reuse; water treatment.

INTRODUÇÃO

A água encontrada na natureza é essencial à vida no nosso planeta. No entanto, o volume de água disponível para consumo tem se tornado cada vez mais escasso. O crescimento da demanda e o crescimento populacional acentuado e desordenado são os principais fatores que influenciam o aumento

do consumo de água, principalmente nos grandes centros urbanos.

Segundo Palmier (2001), a escassez de recursos hídricos em diversos países apresenta um grande desafio para as autoridades responsáveis. De fato, em muitas regiões, a demanda de água excede a quantidade disponível. Petry; Boeriu (2000) relatam que nos

últimos anos, tem-se observado o desenvolvimento de novas tecnologias referentes ao manejo de recursos hídricos porém há, ainda, muito a ser aprimorado.

Existem várias maneiras de se conservar água, duas delas são: aproveitar águas pluviais e reutilizar águas cinzas para consumos não potáveis. Segundo Hespanhol (1997), o conceito de substituição de fontes se mostra como uma alternativa para atender demandas menos restritivas, deixando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres como abastecimento doméstico.

Sistemas de reúso de águas cinzas são utilizados em países que incentivam a conservação de água potável devido à sua escassez, como a Alemanha, Estados Unidos e o Japão. Philippi (2003) afirma que uma das alternativas que tem demonstrado bastante eficácia na conservação de água potável é o reúso de águas servidas que é um importante instrumento de gestão ambiental do recurso água.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), reusar água é aproveitar a água residuária recuperada, através da remoção ou não de parte dos resíduos por ela carreada em uso anterior, e usá-la novamente, em aplicações menos exigentes que o primeiro uso, encurtando assim o ciclo da natureza em favor do balanço energético.

As águas cinzas podem ser definidas como águas residuárias originadas de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas e tanques de lavar roupas e pias de cozinha. De acordo com *California Graywater Standards* (1994), as águas cinzas são resíduos líquidos não tratados originados de edificações residenciais, sem contato com resíduos originados do vaso sanitário.

Henze & Ledin (2001) dividem as águas cinzas em duas categorias: águas cinzas claras e águas cinzas escuras. As águas cinzas claras são águas residuárias provenientes de chuveiros, de lavatórios e de máquinas de lavar roupas. Já as águas cinzas escuras incluem as águas provenientes de pias da cozinha e de máquinas de lavar pratos. Neste trabalho foi abordada a caracterização e o tratamento das águas cinzas claras.

Para estimular o uso de sistemas de reúso de águas cinzas faz-se necessário verificar a qualidade dessas águas e adequá-la aos usos previstos. As águas cinzas devidamente tratadas podem ser utilizadas no consumo não-potável em edificações tais como em bacias sanitárias, em torneiras de jardins, na irrigação de gramados e plantas, na lavagem de veículos, na limpeza de calçadas, na limpeza de pátios, na

produção de concreto, na compactação de solos e usos ornamentais como em chafarizes e em espelhos d'água de modo que sua utilização não ofereça riscos à saúde de seus usuários.

METODOLOGIA

Sistema experimental de coleta de amostras para caracterização das águas cinzas claras

O sistema experimental utilizado para a coleta de amostras de águas cinzas claras brutas foi construído utilizando um *contêiner*. Como a pesquisa foi realizada através de coletas separadas de amostras, algumas modificações e adaptações foram aplicadas ao *contêiner*, em função das exigências e objetivos do estudo como, por exemplo, as instalações de esgoto apresentam derivações separadas para cada ponto de coleta.

A área útil do *contêiner*, com 13,8 m², foi dividida em dois ambientes sanitários, sendo um masculino e um feminino. Cada um desses ambientes foi munido de dois chuveiros, 1 vaso sanitário e 1 lavatório, sendo que, no banheiro feminino foi instalada uma máquina de lavar roupas.

Para a coleta de amostras de águas cinzas claras foi realizada uma seleção de voluntários que trabalham ou que praticam alguma atividade próxima ao local do experimento. Esses voluntários foram divididos entre participantes masculinos e femininos de idades variáveis, na maior parte de adultos. O critério de seleção se deu a partir da função e profissão que essas pessoas atuam, por exemplo, marceneiros, mecânicos, recepcionistas, faxineiras, porteiros, professores, alunos, etc. Essa diversificação de pessoas é fundamental para permitir uma amostragem significativa, que simule a realidade da população.

Durante a pesquisa, foi efetuada a caracterização de 230 amostras de águas cinzas claras, divididas da seguinte maneira: 50 amostras de águas cinzas claras sem tratamento e 180 amostras de águas cinzas claras tratadas.

Para a caracterização das águas cinzas claras foram efetuadas coletas separadas de efluentes. Essas coletas estão divididas da seguinte maneira:

- efluente proveniente dos chuveiros e dos lavatórios;
- efluente proveniente da lavagem de roupa (1º ciclo);
- efluente proveniente do primeiro enxágüe de lavagem de roupa (2º ciclo);

- ☒ efluente proveniente do segundo enxágüe de lavagem de roupa (3º ciclo);
- ☒ efluente proveniente da mistura dos efluentes acima citados.

Os efluentes de cada ponto de amostragem foram retidos em reservatórios de acumulação. Para a coleta do efluente dos chuveiros e dos lavatórios foi instalado um reservatório de polietileno com capacidade para 1.000 litros e, para cada ciclo da máquina de lavar roupas, foi utilizado um reservatório de polietileno de 500 litros.

A coleta foi efetuada separadamente, para verificar qual desses efluentes apresenta maior índice de contaminação. O efluente proveniente dos vasos sanitários foi descartado por não fazer parte das águas cinzas.

Sistema experimental de tratamento das águas cinzas claras

A unidade experimental de tratamento de águas cinzas claras constou de um sistema de tratamento biológico aeróbio. Especificamente, foi utilizado um reator biológico de contato (RBC). O princípio biológico do sistema RBC é o mesmo de todos os sistemas de leito fixo com crescimento em suporte. As bactérias aeróbias, responsáveis pela biodigestão das cargas poluentes, vão se aglomerando nas superfícies dos discos e, quando estes giram, por estarem parcialmente submersos, promovem ciclicamente a aeração

e imersão das colônias de bactérias no efluente. Os discos foram montados lado a lado, num eixo horizontal, com afastamento de 5 a 12 mm, formando grandes cilindros que giravam a uma velocidade de 1,0 a 1,6 rpm. O sistema experimental de tratamento de águas cinzas claras foi integrado por tanque de equalização, reator biológico de contato, reservatório de decantação, filtro de areia de pressão e unidade de desinfecção com cloro. Na figura 1 é apresentado um esquema da unidade experimental utilizada.

O sistema de coleta e tratamento foi operado da seguinte maneira: o efluente proveniente dos pontos de coleta (chuveiros, lavatórios e máquina de lavar roupas - 1º, 2º e 3º ciclos) era encaminhado ao reservatório de equalização. Posteriormente, esse efluente era direcionado ao RBC onde ocorria a degradação da matéria orgânica. O efluente proveniente do RBC era conduzido ao decantador, onde ocorria a sedimentação do lodo. Em seguida, as águas cinzas claras tratadas eram conduzidas ao filtro de areia de pressão e, logo após serem filtradas, eram desinfetadas com hipoclorito de sódio a uma concentração de cloro ativo de 2% a 2,5% p/p (porcentagem em peso).

Foi utilizado um filtro rápido de pressão de escoramento descendente. A taxa de filtração efetiva foi de $750 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e o meio filtrante continha areia com granulometria de 0,45 mm a 0,55 mm com coeficiente de não uniformidade inferior a 1,6 e altura do meio filtrante de 0,52 m.

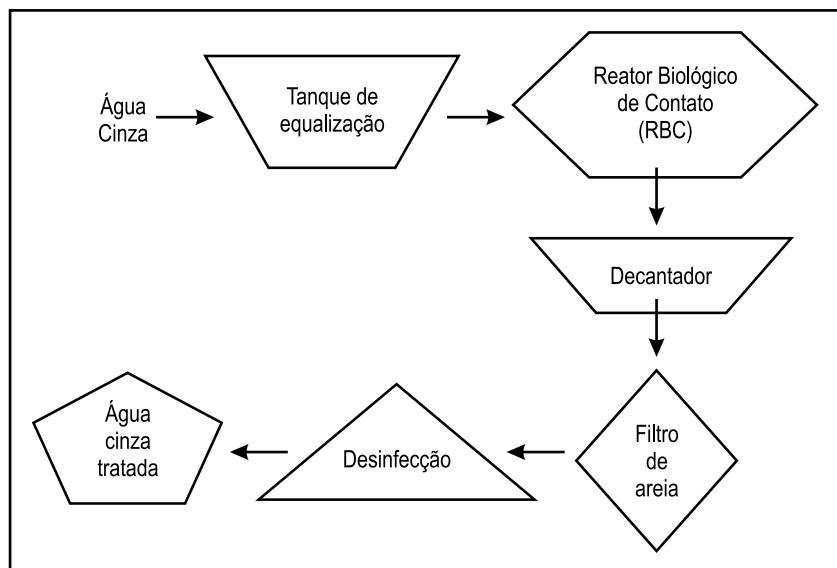


FIGURA 1. Esquema da unidade experimental utilizada para tratamento de águas cinzas claras

RESULTADOS

Qualidade das águas cinzas claras brutas

As amostras de águas cinzas claras foram coletadas em frascos de polipropileno de alta densidade previamente esterilizados em autoclave, a uma temperatura de 121°C. As análises bacteriológicas foram realizadas no Instituto Adolfo Lutz e as análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento Básico da Escola Politécnica da USP. Na tabela 1 são mostrados os resultados obtidos com a caracterização de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos das águas cinzas claras brutas.

Observa-se, na tabela 1, que a cor das águas cinzas claras brutas é maior nas amostras coletadas no 1º ciclo da máquina de lavar roupas, no chuveiro e no lavatório. Nos 1º e 2º enxágües da máquina da lavar roupas a cor apresenta-se em concentrações menores, porém na mistura das águas cinzas claras a cor se manteve em concentrações elevadas, com média de 303 uC.

O parâmetro turbidez apresentou-se em maior concentração nas amostras coletadas do chuveiro e lavatório, com média de 85 UNT. Já a concentração de sólidos totais e sólidos dissolvidos apresentou-se

TABELA 1
Média e desvio padrão de parâmetros indicadores das águas cinzas claras bruta

Parâmetro	Lavagem (1º ciclo)	1º Enxágüe (2º ciclo)	2º Enxágüe (3º ciclo)	Lavatório e Chuveiro	Mistura
Cor (uC)	500 (199)	94 (46)	41 (13)	642 (231)	303 (114)
Turbidez (UNT)	40 (12)	15 (12)	5 (3)	85 (38)	36 (13)
ST (mg/L)	1.131 (225)	210 (101)	116 (60)	303 (101)	425 (101)
SST (mg/L)	81 (44)	20 (9)	10 (6)	88 (44)	40 (10)
SDT (mg/L)	1.050 (213)	190 (96)	107 (55)	215 (68)	385 (98)
pH	9,2 (0,3)	7,7 (0,3)	7,0 (0,2)	6,4 (0,3)	7,6 (0,5)
Alcalinidade (mg/L)	15,8 (6,2)	4,9 (2,1)	2,9 (1,4)	9,0 (2,8)	7,9 (2,6)
Condutividade (μ S/cm)	156 (60)	141 (29)	97 (21)	178 (70)	177 (67)
Dureza (mg/L)	12,4 (5,2)	6,3 (3,1)	3,7 (1,6)	9,6 (5,0)	7,6 (4,5)
Cálcio (mg/L)	9,6 (3,2)	5,1 (2,1)	3,5 (1,4)	5,8 (2,5)	5,5 (1,1)
Magnésio (mg/L)	1,3 (0,5)	0,8 (0,4)	0,6 (0,1)	0,9 (0,2)	0,7 (0,3)
Cloreto (mg/L)	19,3 (7,2)	9,5 (2,1)	8,1 (0,6)	23,1 (8,2)	12,4 (3,7)
Sulfatos (mg/L)	262 (137,3)	46 (8,4)	26 (17,8)	47,5 (26,2)	92 (56,6)
Óleos e graxas (mg/L)	58,9 (7,8)	45,6 (10,8)	38,5 (9,2)	114,8 (17,9)	65,9 (12,0)
DBO (mg/L)	222 (53)	48 (12)	21 (18)	181 (50)	113 (41)
DQO (mg/L)	651 (155)	120 (36)	64 (40)	390 (121)	282 (97)
Coliformes Totais (UFC/100mL)	1,07x10 ⁴ (6,9x10 ³)	3,4x10 ³ (4,1x10 ³)	388 (246,6)	8,7x10 ³ (7,6x10 ³)	4,3x10 ³ (6,1x10 ³)
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)	7,9x10 ³ (5,6x10 ³)	8,5 (9,7)	2,3 (0,5)	4,5x10 ³ (6,0x10 ³)	3,0x10 ³ (4,6x10 ³)

mais significativa em amostras coletadas no 1º ciclo da máquina de lavar roupas.

O pH das águas cinzas claras apresentou-se básico nas amostras coletadas do 1º ciclo da máquina de lavar roupas e levemente ácido nas amostras coletadas do chuveiro e lavatório. O pH alcalino nas amostras coletadas do 1º ciclo da máquina de lavar roupas deve-se ao sabão utilizado para a lavagem das roupas. Nas amostras coletadas do 1º e 2º enxágue a concentração de sabão é menor, e por isso, o pH tende a ficar em torno de 7,0. Nas amostras coletadas da mistura dos efluentes onde ocorre a diluição, o pH médio foi de 7,6.

De modo geral, as águas cinzas claras apresentaram baixa dureza, o que significa que essas águas são classificadas como brandas ou moles e indicam baixo potencial de incrustação.

Os cloretos são advindos da dissolução de sais, como por exemplo, o cloreto de sódio. A maior concentração de cloretos foi encontrada nas amostras provindas do chuveiro e lavatório e do 1º ciclo da máquina de lavar roupas. O cloreto nas águas é responsável por provocar corrosão em peças e equipamentos hidráulicos.

As concentrações de sulfato foram significativas nas amostras coletadas no 1º ciclo da máquina de lavar roupas, com média de 262 mg/L. Na mistura das águas cinzas claras ocorre a diluição, porém a concentração de sulfatos permanece com valor médio de 92 mg/L.

A maior concentração de óleos e graxas foi encontrada nas amostras coletadas do chuveiro e lavatório, devido ao desprendimento de resíduos oleosos expelidos pelo corpo. Já a concentração de matéria orgânica foi elevada, principalmente nas amostras coletadas do 1º ciclo da máquina de lavar roupas e do chuveiro e lavatório. A maior parte da matéria orgânica encontrada nas águas cinzas claras são derivadas de resíduos corporais, óleos e gorduras, cabelos, sabão, etc.

Coliformes totais e coliformes termotolerantes foram encontrados em grandes concentrações, principalmente nas amostras coletadas do 1º e 2º ciclo da máquina de lavar roupas e do chuveiro e lavatório. Esses parâmetros indicam o grande potencial de disseminação de doenças de origem hídrica, se feito uso inadequado dessas águas. As águas cinzas devem ser devidamente tratadas e desinfetadas antes de serem utilizadas para consumo não potável, evitando que ocorram riscos à saúde de seus usuários.

Qualidade das águas cinzas claras tratadas

Durante o período de monitoramento do sistema experimental de tratamento das águas cinzas claras, a temperatura ambiente oscilou entre 17 a 27 °C e não foram detectados odores desagradáveis nas amostras de águas cinzas claras tratadas. O período de monitoramento se estendeu de novembro de 2006 a abril de 2007, totalizando 180 amostras. Análises de oxigênio dissolvido foram realizadas no tanque de equalização das águas cinzas brutas e nas quatro câmaras dos discos. A média dos resultados de oxigênio dissolvido encontrada no tanque de equalização foi de 0,17 mg/L. Na primeira câmara onde entrava o efluente bruto, o resultado foi de 1,43 mg/L, na segunda, de 1,80 mg/L, na terceira, de 3,03 mg/L e na quarta, de 3,69 mg/L.

De modo geral, a maior eficiência obtida na remoção de poluentes ocorreu no reator biológico de contato. A qualidade das águas cinzas claras tratadas obtida na saída do RBC foi excelente, permitindo reúso para, por exemplo, irrigação de jardins e plantas ornamentais, e para a limpeza de calçadas e pátios. Na etapa de filtração e desinfecção não ocorreu eficiência significativa na remoção de poluentes. Porém, a desinfecção foi necessária para controlar quaisquer organismos patogênicos presentes nas águas cinzas já tratadas e para manter um residual de cloro.

Na tabela 2 estão descritos os resultados dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos obtidos no tratamento das águas cinzas claras.

Observa-se, na tabela 2, que a maior porcentagem de remoção de cor foi obtida na saída do RBC, ou seja de 91,1%. A remoção, no filtro de areia, foi de apenas 36,6%. A média dos resultados de turbidez obtidos no RBC foi de 1,7 UNT. Isso significa uma remoção de 97,5% e, após a filtração, uma média de turbidez de 1,4 UNT e remoção de 17,6%. Como não foi adicionado coagulante nas águas cinzas claras antes da filtragem, não foi observada uma boa eficiência na remoção de turbidez após a cloração e a filtragem das águas cinzas claras. Já a média dos resultados encontrada para sólidos suspensos totais no efluente bruto foi de 68 mg/L e, após a filtração, de 4 mg/L, significando uma redução de 94,1%. Já os sólidos dissolvidos apresentaram baixa remoção em todas as etapas do sistema experimental de tratamento das águas cinzas claras.

O parâmetro pH para as amostras de águas cinzas claras tratadas oscilaram em torno de 7,0. Com relação ao parâmetro alcalinidade, foi obtida uma

TABELA 2
Média e desvio padrão dos resultados obtidos no tratamento das águas cinzas claras

Parâmetro	Bruta	Saída do RBC	Clorada	Clorada e filtrada
Cor (uC)	124 (35)	11 (3)	7 (3)	6 (3)
Turbidez (UNT)	67,5 (22,8)	1,7 (0,7)	1,4 (0,6)	1,2 (0,5)
ST (mg/L)	517 (93)	491 (91)	488 (92)	426 (70)
SST (mg/L)	68 (17)	5 (2)	4 (2)	4 (2)
SDT (mg/L)	486 (90)	484 (92)	449 (88)	421 (70)
pH	7,4 (0,3)	6,9 (0,2)	6,8 (0,2)	6,8 (0,2)
Alcalinidade (mg/L)	132 (40)	85 (25)	85 (25)	85 (25)
Condutividade (μ S/cm)	851 (243)	770 (240)	895 (295)	842 (289)
NKT (mg/L)	17,4 (5,7)	6,4 (4,4)	2,9 (2,5)	1,6 (2,1)
NH3 (mg/L)	11,3 (5,6)	3,6 (3,4)	0,9 (1,8)	0,6 (1,3)
Óleos e graxas (mg/L)	55,3 (20,7)	24,3 (10,3)	-	-
DBO (mg/L)	150 (35)	<10	<10	<10
DQO (mg/L)	249 (98)	34 (10)	36 (12)	34 (10)
COT (mg/L)	82,5 (21,6)	12,4 (1,9)	12,4 (1,8)	12,4 (1,8)
Coliformes Totais (UFC/100mL)	1,4x10 ⁴ (4,5x10 ³)	303 (190)	< 2	< 2
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)	6,3x10 ³ (5,2x10 ³)	9 (10)	< 2	< 2

remoção de 29,1% . Em termos de óleos e graxas a remoção foi de 56,1%.

As formas predominantes de nitrogênio nos esgotos domésticos são: nitrogênio orgânico (uréia, aminoácidos e outras substâncias orgânicas do grupo amino) e nitrogênio amoniacal. As águas cinzas claras também apresentam nitrogênio orgânico e amoniacal. Nas águas cinzas claras brutas a média de nitrogênio total Kjeldahl foi de 17,4 mg/L e a média de nitrogênio amoniacal foi de 11,3 mg/L. Na saída do RBC foi verificada uma redução para nitrogênio total Kjeldahl de 63,2% e de 68,1% para nitrogênio amoniacal.

Todas as análises de DBO realizadas após a saída do RBC apresentaram resultados inferiores a 10 mg/L. A remoção de matéria orgânica no sistema de tratamento adotado foi bastante significativa, atingindo remoções de DBO e DQO de 93,4% e 86,3%, respectivamente.

O carbono é um elemento químico que entra na constituição dos seres vivos e de todos os compostos orgânicos. Como o carbono, ao oxidar-se, consome o oxigênio dissolvido na água, a quantificação do

carbono orgânico total é um bom indicador da presença de matéria orgânica nos meios hídricos. Observa-se, na tabela 2, que a concentração média de carbono orgânico total nas águas cinzas claras brutas foi de 82,5 mg/L e nas águas cinzas claras tratadas foi de 12,4 mg/L, o que corresponde a uma redução de 84,9%.

A concentração de coliformes totais e coliformes termotolerantes nas águas cinzas claras é bastante elevada tornando seu uso, sem tratamento, inadequado, face ao grande risco potencial de contato humano direto. A média da concentração de coliformes totais encontrada nas águas cinzas claras brutas foi de 1,4x10⁴ UFC/100mL e, para coliformes termotolerantes, de 6,3x10³ UFC/100mL. Observa-se ainda uma redução de coliformes totais e termotolerantes bastante significativa nas amostras de águas cinzas claras coletadas na saída do RBC, de 97,8% e 99,8%, respectivamente. Nas amostras coletadas após a desinfecção, a concentração de coliformes totais e termotolerantes foi menor do que 2 UFC/100mL. Apesar da redução ter sido bastante significativa nas amostras coletadas na saída do

RBC, a desinfecção foi indispensável para a inativação de quaisquer patógenos presentes nas águas cinzas claras e principalmente, para a obtenção do residual de cloro.

A desinfecção tem caráter corretivo e preventivo porque mesmo quando a água é tratada ela pode ser contaminada ao longo do percurso até o consumo final, sendo que a desinfecção auxilia na prevenção da proliferação de limo em reservatórios. Nas águas cinzas claras tratadas foi preservado um residual de cloro, após 30 minutos de contato, de 0,8 a 1,7 mg/L.

DISCUSSÃO

O tratamento das águas cinzas se faz necessário por uma série de fatores relacionados ao grau de exigência mínima de qualidade da água para o uso não potável. Segundo o manual do SINDUSCON (2005), para usos como rega de jardim, lavagem de pisos, descargas de bacias sanitárias, lavagem de veículos, lavagem de roupas e utilização ornamental (espelhos d'água e chafarizes) é necessário que, após o tratamento das águas cinzas, as seguintes características sejam verificadas: não deve apresentar odores desagradáveis, não deve ser turva, não deve conter componentes que agride as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas, não deve ser abrasiva, não deve manchar superfícies, não deve apresentar risco de infecções ou contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana e não deve deteriorar os metais sanitários e máquinas.

O uso das águas cinzas deve-se restringir somente ao consumo não potável devido aos seguintes fatores:

- risco elevado para a saúde dos usuários;
- falta de normas técnicas adequadas para o reúso de águas cinzas;
- falta de apoio e de fiscalização pelas instituições governamentais;
- falta de preparo, de controle e de manutenção do processo de tratamento de água para fins potáveis, pelo usuário não especializado;
- custo elevado do tratamento para fins potáveis, o que tornaria o sistema inviável.

Em casos onde há necessidade do reúso para fins potáveis (higiene pessoal, preparo de alimentos e consumo), as águas, além de verificar todas as características acima citadas, devem atender à Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

Hespanhol (1999) relata que a presença de organismos patógenos e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reúso, principalmente naqueles oriundos de estações

de tratamento de esgotos de grandes conurbações, caracteriza o reúso potável como uma alternativa associada a riscos muito elevados, tornando-o praticamente inaceitável. Além disso, os custos de sistemas de tratamento avançados que seriam necessários, levariam, na grande maioria dos casos, à inviabilidade econômico-financeira do abastecimento público, não havendo ainda, garantia de proteção adequada da saúde dos consumidores.

Alguns países têm desenvolvido diferentes alternativas para proteção da saúde pública e do meio ambiente. No entanto, o fator econômico é o que, na maioria das vezes, governa a escolha de uma estratégia, principalmente com relação aos custos de tratamento e de monitoramento de sistemas de reúso. Grande parte dos países desenvolvidos estabelece diretrizes conservativas, com baixo risco e utilizam tecnologias de alto custo. Entretanto, isso nem sempre garante um baixo risco, em virtude da falta de experiência operacional.

Em Berlim, na Alemanha, por exemplo, os padrões de qualidade microbiológica e higiênica de águas recicladas foram inicialmente utilizados tendo como base critérios dirigidos à saúde e à proteção ambiental, das diretrizes para águas recreativas. Em 1995 foram fixadas normas e critérios pelo *"Berlin Senate Department for Building and Housing"* (Senbauwohn, 1995 apud LI et al., 2003).

A USEPA (2004) relata que não existem regulamentações federais nos Estados Unidos relacionadas diretamente à prática do reúso. Entretanto, diversos estados americanos, de maneira isolada, desenvolveram regulamentações ou guias para esse fim. Alguns estados como, por exemplo, a Califórnia, desenvolveram amplos regulamentos e guias especificando requisitos de qualidade e/ou processos de tratamento, para as várias aplicações da água de reúso. A USEPA (2004) em *"Guidelines for Water Reuse"*, descreve os estágios de tratamento, exigências de qualidade da água e as ferramentas de monitoramento para sistemas de reúso não potáveis. Os parâmetros de controle de qualidade estabelecido pela USEPA (2004) para águas de reúso não potável são os seguintes: 2 UNT para turbidez, pH entre 6 e 9; 10 mg/L para DBO; cloro residual maior ou igual a 1 mg/L e coliformes termotolerantes não detectáveis.

Mujeriego et al. (1999) também estabelecem alguns parâmetros de controle da qualidade da água de reúso para uso na descarga de vasos sanitários, são eles: turbidez menor que 2 UNT, pH entre 6

e 9; DBO menor que 10 mg/L; 1 mg/L para cloro residual e coliformes termotolerantes não detectáveis.

No Brasil está em vigor a NBR 13.969/1997, que, no item 5.6.4, estabelece alguns parâmetros de controle de qualidade para reúso não potável de esgoto doméstico tratado. Os parâmetros estabelecidos na NBR 13.969/1997 estão descritos na tabela 3.

O manual do SINDUSCON (2005) estabelece os seguintes parâmetros de qualidade para reúso de águas cinzas na descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos (tabela 4).

De modo geral, observa-se nos limites estabelecidos nas tabelas 3 e 4 que o parâmetro pH para controle da qualidade da água de reúso oscila em torno de 6 a 9 e que o parâmetro turbidez oscila entre valores menores que 2 e menores que 5 UNT, com exceção do reúso para descargas de vasos sanitários indicado na NBR 13.969/1997, que estabelece um limite de 10 UNT. No estudo de tratabilidade das águas cinzas claras, os parâmetros pH e turbidez atendem aos limites estabelecidos pelo USEPA (2004), pela NBR 13969/1997 e pelo manual do SINDUSCON (2005).

O parâmetro cor somente é referenciado no manual do SINDUSCON (2005), onde é estabelecido

TABELA 3

Parâmetros de controle de qualidade para reúso não potável de esgoto doméstico tratado descritos na NBR 13.969/1997 item 5.6.4

Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes	pH	6 - 8
	Turbidez (UNT)	5
	SDT (mg/L)	< 200
	Cloro residual (mg/L)	0,5 - 1,5
	Coliformes termotolerantes NMP/100mL	< 200
Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	pH	-
	Turbidez (UNT)	5
	SDT (mg/L)	-
	Cloro residual (mg/L)	0,5
	Coliformes termotolerantes NMP/100mL	< 500
Descargas de vasos sanitários	pH	-
	Turbidez (UNT)	<10
	SDT (mg/L)	-
	Cloro residual (mg/L)	-
	Coliformes termotolerantes NMP/100mL	<500

Fonte: NBR 13.969/1997

TABELA 4

Parâmetros de controle de qualidade para reúso das águas cinzas descritos no manual do SINDUSCON (2005)

Descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos	pH	6 - 9
	Cor (uC)	≤ 10
	Turbidez (UNT)	≤ 2
	SST (mg/L)	≤ 5
	SDT (mg/L)	≤ 500
	DBO (mg/L)	≤ 10
	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	ND

Fonte: SINDUSCON (2005)

um limite de 10 uC e para os SST, o manual descreve um limite de 5 mg/L para usos na descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos. A média do parâmetro cor encontrada no estudo de tratabilidade das águas cinzas claras foi de 6 uC e a média dos SST foi de 4 mg/L.

A NBR 13.969/1997 estabelece para SDT um limite inferior a 200 mg/L para usos na lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes. Já o manual do SINDUSCON (2005) estabelece um limite inferior a 500 mg/L para usos na descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos. No estudo de tratabilidade das águas cinzas claras, a média obtida para SDT foi de 421 mg/L.

Mujeriego et al. (1999) sugerem um limite para DBO menor ou igual a 10 mg/L para uso na descarga de vasos sanitários. O manual do SINDUSCOM (2005) estabelece um limite para DBO de 10 mg/L para descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos e a USEPA (2004) um limite igual a 10 mg/L para reúso não potável. Todas as amostras das águas cinzas claras coletadas após o tratamento apresentaram concentração de DBO menor ou igual a 10 mg/L.

A concentração de coliformes é estabelecida pela NBR 13.969/1997 com um limite de 200 NMP/100mL para lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes e um limite de 500 NMP/100mL para lavagens de pisos, calçadas, irrigação dos jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos e descarga de vasos sanitários. Já o manual do SINDUSCON (2005) estabelece que não deverão ser detectados coliformes termotolerantes nas águas cinzas utilizadas para a descarga de vasos sanitários, para a lavagem de pisos, para fins ornamentais e para a lavagem de veículos. A concentração de coliformes termotolerantes encontrada nas amostras de águas cinzas claras tratadas foi inferior a 2 NMP/100mL.

Em Mujeriego et al. (1999), o residual de cloro sugerido para águas de reúso não potável é de 1 mg/L. De acordo com a USEPA (2004), o residual de cloro estabelecido é maior ou igual a 1 mg/L e pela NBR 13.969/1997, o residual de cloro oscila entre 0,5 e 1,5 mg/L. Nas amostras das águas cinzas claras tratadas foi mantido um residual de cloro entre 0,8 e 1,7 mg/L.

Observa-se que os resultados obtidos na pesquisa de tratabilidade das águas cinzas claras atendem os limites estabelecidos pelas referências internacionais e nacionais. Verifica-se ainda que as águas cinzas claras tratadas no sistema experimental podem ser utilizadas para reúso não potável como na descarga de vasos sanitários, na lavagem de carros, na lavagens de pisos e calçadas, na irrigação de jardins, na manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos.

Apesar dos resultados de qualidade obtidos no estudo terem sido satisfatórios, cada sistema de reúso deverá ser monitorado para controle da qualidade do efluente tratado, pois a qualidade das águas cinzas brutas podem variar dependendo de diferentes fatores e poderá refletir na qualidade do efluente final.

CONCLUSÕES

Um tratamento adequado é necessário para o reúso das águas cinzas, adequando-as aos padrões de qualidade compatíveis aos usos para os quais se destinam, visando a diminuição dos riscos à saúde pública e a maior aceitabilidade por parte de usuários. Cuidados como evitar conexões cruzadas, usos inadequados da água, monitoramento contínuo da qualidade da água utilizada, manutenção adequada, risco de contaminação em operadores e usuários, identificação e avisos visíveis constando alertas de “água não potável” deverão ser implementados em sistemas de reúso das águas cinzas.

Em cada sistema de reúso das águas cinzas projetado deve-se considerar o comportamento do usuário, sendo que o volume e a concentração de contaminantes pode variar muito dependendo da tipologia da edificação.

Na caracterização das águas cinzas claras realizadas nesta pesquisa, pode-se constatar que as águas provindas do primeiro ciclo da máquina de lavar roupas e do chuveiro e lavatório apresentam concentrações elevadas de matéria orgânica, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

De modo geral, as maiores concentrações de poluentes encontrados nas águas cinzas claras ocorreram no 1º ciclo da máquina de lavar roupas, no chuveiro e no lavatório. Na mistura dessas águas com as provindas do 2º e do 3º ciclo da máquina de lavar roupas ocorreu uma diluição, porém, os resultados da caracterização mostraram a necessidade de tratamento adequado antes do seu uso final, mesmo para os usos não potáveis relacionados.

No sistema experimental de tratamento pode-se verificar que a maior eficiência na remoção de poluentes foi obtida no RBC. Nas amostras das águas cinzas claras coletadas na saída do RBC pode-se constatar uma redução na cor de 91,1%, na turbidez de 97,5%, nos óleos e graxas de 56,1%, no fósforo de 23,6% e no nitrogênio total Kjeldahl de 63,2%. Já nas análises de DBO, todas as amostras coletadas na saída do RBC apresentaram concentrações menores que 10mg/L e DQO média de 34mg/L.

O sistema de filtração utilizado para o tratamento das águas cinzas claras não apresentou, neste caso, grande eficiência. Por outro lado, a

desinfecção das águas cinzas claras foi de extrema importância para a inativação de quaisquer patógenos presentes e, principalmente, para a obtenção de residual de cloro.

A qualidade das águas cinzas claras tratadas obtidas no sistema experimental de tratamento utilizado, atendeu aos padrões mínimos de qualidade exigidos para usos na descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos e calçadas, na irrigação de jardins, na manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997. NBR 13969: tanques sépticos: *unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, p. 21 – 23.
- CALIFORNIA GRAYWATER STANDARDS. 1994. *Graywater systems for single family dwellings*. Código Administrativo da Califórnia. Título 24. Parte 5.
- HENZE, M.; LEDIN, 2001. A. *Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters*. New York: IWA Published.
- HESPAÑOL, I., 1999. Água e saneamento básico – uma visão realista. In: *Água doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Coordenação de Aldo Rebouças, Benedito Braga e José Galizia Tundisi. Editora Escrituras.
- HESPAÑOL, I., 1997. Reúso integrado à gestão de recursos hídricos bases para planejamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Vitória.
- LI, Z.; GULYAS, H.; BEHRENDT, J.; GAJUREL, D. e OTTERPOHL, R., 2003. *High quality greywater recycling with biological treatment and 2-step membrane filtration*. 2nd international symposium on ecological sanitation.
- METCALF & EDDY., 2003. *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse*. 4 ed. New York: McGraw Hill.
- MUJERIEGO, R. et al., 1999. The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse. Water Science Technology. v.40, n. 4-5, p. 1-9.
- PALMIER, L. R. 2001. *A necessidade das bacias experimentais para a avaliação da eficiência de técnicas alternativas de captação de água na região semi-árida do Brasil*. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, p. 8. 1 CD – ROM.
- PETRY, B.; BOERIU, P., 2000. *Environmental Impact Assessment. Water Quality Management Strategies for Sustainable Use of Water Resources*. International Institute for Infrastructure, Hydraulic and Environmental Engineering.
- PHILIPPI, J. A., 2003. *Introdução ao reúso de águas*. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de águas. São Paulo: Manole, p. 6.
- SINDUSCON, 2005. *Conservação e reúso de água em edificações*. São Paulo. Prol Editora Gráfica.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA, 2004. *Manual: Guidelines for water reuse*, Washington. DC: (EPA/625/R-04/108).

SIMONE MAY Engenheira Civil pela Universidade do Sul de Santa Catarina; Mestre em Sistemas Prediais pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E-mail: simone.may@poli.usp.br

IVANILDO HESPAÑOL Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP; Engenheiro Sanitarista pela Faculdade de Saúde Pública da USP; Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade da California, Berkeley; Ph.D em Engenharia pela Universidade da California, Berkeley; Doutor em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo; Livre Docente pela Universidade de São Paulo; Professor Titular da Universidade de São Paulo.