

II-411 - CLORAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS COM FINALIDADE DE REÚSO

Rute Márcia Calheiros de Melo Bezerra ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Alagoas. Bolsista do CNPq (2013-2014).

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (Campus II), Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Professora Associada IV do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Marcio Gomes Barboza

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas, Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Professor Associado do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Endereço⁽¹⁾: Av. Lourival Melo Mota, s/n. Tabuleiro dos Martins. CEP:57072-900, Maceió - AL - Brasil - Tel: (82) 32141275 - e-mail: rute_mcmb@hotmail.com

RESUMO

O reúso de água é uma prática cada vez mais utilizada no Brasil e no mundo, por conta da problemática da escassez hídrica. Com essa finalidade, o esgoto doméstico pode ser separado entre águas negras (oriundas dos vasos sanitários e pia de cozinha) e águas cinzas (advindas da água do banho, das pias de banheiro e máquinas e tanques de lavar roupas). O estudo apresentado a seguir avalia a desinfecção de águas cinzas, tendo como objetivo determinar a dosagem de cloro e tempo de contato necessários para adequar qualidade desse efluente ao reúso para fins não potáveis. Analisando os indicadores de qualidade de águas físico-química e microbiológica foi possível compará-los com parâmetros para reúso de água, levando em consideração a norma técnica NBR 13.969/97, o *Guidelines for Water Reuse* da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) e as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS). A cloração mostrou-se eficiente como método de desinfecção, com a inativação de coliformes totais em até 4,95 log, e mais que 3,7 log de *E. coli* para as condições experimentais adotadas. Entretanto, considerando os indicadores físico-químicos, ainda há necessidade da aplicação de tratamento adicional para determinados tipos de reúso.

PALAVRAS-CHAVE: Águas residuárias domésticas, segregação de correntes, cloração, águas cinzas, reúso.

INTRODUÇÃO

Aplicações do reúso da água já são realizadas em algumas regiões do Brasil (TELLES; COSTA, 2007), ainda de maneira informal, o que de certa forma mostra tanto que isso é necessário em locais com problemas de abastecimento, como também é urgente a regularização dessa atividade. Vários são os exemplos de reúso em residências e empresas, veiculados diariamente nos meios de comunicação, em matérias sobre a atual crise hídrica no Brasil, particularmente no Estado de São Paulo (GLOBO, 2015). Dessa forma é possível, além de amenizar os problemas da seca, disseminar essa prática, em nível nacional, e alcançar ganhos econômicos e outras vantagens que a sua prática proporciona.

Quando se tem uma água residuária com características restritas, pode-se encontrar um tratamento mais direcionado, que a torne apta ao reúso. No caso de efluentes domésticos, isso se torna possível por meio da segregação em águas cinzas e negras. As águas cinzas são derivadas de efluentes que não recebem a contribuição de vasos sanitários, como é o caso das águas de máquinas e tanques de lavar roupas, lavatórios e chuveiros. Alguns autores consideram as águas de pias de cozinha como cinzas (GONÇALVES *et al.*, 2006), mas não é o caso desse trabalho. As águas negras são aquelas oriundas dos vasos sanitários e também das pias de cozinha.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da desinfecção, por cloração, das águas cinzas de uma residência unifamiliar e verificar se o efluente desinfetado se enquadra nos padrões exigidos pela Norma Técnica NBR 13.969/97, como também pelas normas da Organização Mundial de Saúde (OMS) e da *U. S. Environmental Protection Agency* (USEPA), para o reúso de águas residuárias. Sendo assim, este trabalho tem

a pretensão de analisar os seguintes pontos: (i) Demanda de cloro para desinfecção das águas cinzas; (ii) Eficiência do processo de desinfecção por cloração através da contagem de coliformes totais e *Escherichia coli* realizada antes e após a aplicação da cloração.

MATERIAIS E MÉTODOS

Efluente: Foram coletadas amostras simples de águas cinzas de uma residência unifamiliar de alto padrão localizada em Maceió, em dias distintos, num total de quatro amostras (1, 2, 3 e 4). A separação dos efluentes em águas negras, aqui definidas como aquelas provenientes de vaso sanitário e pia de lavar louças - alto teor de matéria orgânica, e águas cinzas (lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar roupas - baixo teor de matéria orgânica), foi possível porque as instalações hidráulicas da residência foram projetadas com tal finalidade.

Escolha do desinfetante e ensaios de desinfecção: A desinfecção do efluente foi realizada com uso de água sanitária, solução aquosa com a finalidade de desinfecção e alvejamento, cujo ativo é o hipoclorito de sódio, com teor de cloro ativo entre 2,0 e 2,5% p/p, contendo estabilizante (hidróxido de sódio ou de cálcio, cloreto de sódio ou de cálcio e carbonato de sódio ou de cálcio). A escolha do desinfetante levou em consideração o baixo custo (em torno de R\$ 1,00/litro) e a facilidade de aplicação.

Os ensaios de desinfecção foram conduzidos em batelada, utilizando sempre a mesma água sanitária adquirida em supermercado, sendo as concentrações do desinfetante variáveis (7,5, 15, 22,5 e 30 mg Cl/L) e tempos de contato pré-determinados (30 minutos e 1 hora), a fim de se avaliar qual concentração era a mais adequada para a inativação dos microrganismos. Dessa forma, o seguinte Planejamento Experimental foi realizado, considerando as variáveis de estudos (tempo de contato e concentração de desinfetante) e os níveis de variação (Tabela 1).

Tabela 1: Planejamento Experimental para os ensaios de desinfecção.

Concentração de cloro	Tempo de contato	
	T1 = 30min	T2 = 60 min
C1= 7,5(mg/L)	C1;T1	C1;T2
C2 = 15(mg/L)	C2;T1	C2;T2
C3= 22,5(mg/L)	C3;T1	C3;T2
C4 = 30(mg/L)	C4;T1	C4;T2

Parâmetros monitorados e métodos analíticos: Para avaliar a eficiência da cloração, foram quantificados os indicadores microbiológicos, coliformes totais e *Escherichia coli*, antes e após a desinfecção. Outras características monitoradas que podem interferir no processo também foram avaliadas: pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Dissolvido (COD), turbidez, sólidos suspensos totais e cloro residual. Os métodos analíticos utilizados estão descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), (Tabela 2).

Tabela 2: Características físico-químicas e microbiológicas avaliadas e métodos analíticos.

Parâmetros	Métodos analíticos
pH	Método eletrométrico
Turbidez (UNT)	Método nefelométrico
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Método gravimétrico
DQO (mg/L)	Método colorimétrico
COD (mg/L)	Método infravermelho não dispersivo
Cloro Residual (mg/L)	Método iodométrico
Coliformes Totais (UFC/100 ml)	Filtração em membrana e uso de meio de cultura com substrato cromogênico (Endo)
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	

Análise e discussão dos resultados: Os resultados em laboratório foram confrontados com a literatura existente sobre padrões de reúso de efluentes, tais como a NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997), *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 2004) e Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos exames microbiológicos e análises físico-químicas estão indicados nas Tabelas 3 e 4.

Conforme consta na Tabela 3, para a Amostra 1, os resultados dos exames microbiológicos, antes e após a cloração, indicaram como eficiência de desinfecção o decréscimo de 4,43 log no número de coliformes totais e de mais que 3,6 log de *E. coli*, quando utilizadas as dosagens de 30 e 15 mg/L de cloro, respectivamente, e tempo de contato de 60 minutos.

Na Amostra 2, não foi encontrado o indicador de contaminação fecal, *E. coli*, no efluente bruto, nas diluições utilizadas. Este resultado pode ter ocorrido por dificuldades na visualização das colônias durante o exame microbiológico, visto que nas demais amostras *E. coli* esteve presente em concentrações da ordem de 10^4 a 10^5 (UFC/100 mL).

Na Amostra 3, a inativação de *E. coli* foi de 3 log para a concentração de 7,5 mg/L de cloro, com tempo de contato de 30 minutos, e de 4 log após 60 minutos.

Por fim, na Amostra 4 verificou-se que as concentrações de 15 e 22,5 mg Cl/L tiveram como efeito nas águas cinzas a redução acima de 4,95 log de coliformes totais e de mais que 3,7 log de *E. coli*, mostrando-se um método bastante eficiente.

Tabela 3: Resultados de coliformes totais e *E. coli* para as águas cinzas, antes e após desinfecção.

Amostra		Coliformes totais (UFC/100mL)			<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)		
		T0	T1	T2	T0	T1	T2
EB	1	3,80E+06	-	-	4,00E+04	-	-
	2	4,00E+06	-	-	NE	-	-
	3	3,00E+06	-	-	1,00E+05	-	-
	4	9,00E+05	-	-	5,00E+04	-	-
C1	2	-	>10	>10	-	-	-
	3	-	>100	>10	-	1,00E+02	1,00E+01
C2	1	-	-	>100	-	-	<10
	2	-	>10	>10	-	-	-
	4	-	<10	<10	-	<10	<10
C3	4	-	<10	<10	-	<10	<10
C4	1	-	-	1,4E+02	-	-	<10

Observações: C1, C2, C3 e C4 = concentrações 7,5, 15, 22,5 e 30 mg/L de cloro, respectivamente; EB=efluente bruto; T0 = Tempo inicial; T1 = 30 minutos; T2 = 60 minutos; NE=não encontrado; 1 = Amostra 1; 2 = Amostra 2; 3 = Amostra 3; 4 = Amostra 4.

Na Tabela 4 pode-se conferir a caracterização das águas cinzas brutas e cloradas, com relação aos indicadores qualitativos DQO, COD, pH, turbidez, cloro residual e sólidos suspensos totais - SST, das quatro coletas realizadas.

Tabela 4: Resultados da caracterização das águas cinzas brutas e cloradas

Amostras		DQO (mg/L)			pH			Cloro Residual (mg/L)		Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	COD (mg/L)
EB	1	145,1			7,33			-		287,00	90	34,37
	2	261,4			7,53			-		97,08	34	23,81
	3	-			7,45			-		276,0	158	13,71
	4	138,8			7,67			-		256,8	154	28,57
EC		T0	T1	T2	T0	T1	T2	T1	T2	-	-	-
C1	2	-	-	132,5	-	7,79	7,80	NE	NE	-	-	-
	3	-	-	-	-	7,69	7,52	NE	NE	-	-	-
C2	1	-	-	77,6	-	-	7,41	NE	NE	-	-	-
	2	-	-	151,4	7,56	7,01	6,70	NE	NE	-	-	-
	4	-	-	135,7	-	7,67	7,64	0,84	0,42	-	-	-
C3	2	-	-	148,3	7,57	7,05	7,12	1,69	0,84	-	-	-
	4	-	-	76,0	-	7,7	7,6	-	-	-	-	-
C4	1	-	-	104,3	-	-	-	4,22	3,37	-	-	-

Observações: C1, C2, C3 e C4 = concentrações 7,5, 15, 22,5 e 30 mg/L de cloro, respectivamente; EB=efluente bruto; EC=efluentes clorados; T0 = Tempo Inicial; T1 = 30 minutos; T2 = 60 minutos; 1 = Amostra 1; 2 = Amostra 2; 3 = Amostra 3; 4 = Amostra 4; NE = não encontrado/nulo

É possível observar que houve consumo de cloro para oxidação da matéria orgânica (diminuição das concentrações de DQO com o tempo), o que pode ter inibido a desinfecção.

Quanto ao pH de desinfecção, variou de 7,33 a 7,67. Este é um parâmetro importante para a eficiência do processo, pois baixos valores de pH são favoráveis às reações de desinfecção, já que em meio ácido a dissociação do ácido hipocloroso (HOCl) será em menor proporção. Segundo Daniel *et al.* (2001), a dissociação de HOCl é incompleta com pH entre 6,5 e 8,5, sendo completa acima de 8,5 e não ocorrendo abaixo de 6,5.

Como a maior parte da turbidez nas águas cinzas é proveniente da presença de sólidos suspensos e a cloração não tem a finalidade de eliminar os mesmos, a aplicação de cloro não deve surtir efeito relevante na sua redução. Sendo assim, foram realizadas apenas análises de turbidez e sólidos suspensos totais (SST) dos efluentes brutos (antes da cloração). Há de se ressaltar, entretanto, que a turbidez desempenha papel preponderante no processo de desinfecção, na medida em que as partícula suspensas servem de “escudo” para proteção dos microrganismos da ação do desinfetante (DANIEL *et al.*, 2001).

Também é fundamental observar o comportamento do cloro nas águas residuárias após o tempo de contato. Foi constatado que, em geral, quanto maior a dosagem de cloro e o tempo de contato, mais eficiente foi a desinfecção. Todavia, como já foi comentado, por conta de outros fatores (presença matéria orgânica) o consumo de cloro pode se dar de maneira variável, como o que aconteceu com a concentração de 15 mg/L. Nesse caso, não foi encontrado cloro residual nas amostras 1 e 2 após o tempo e contato de 30 e 60 minutos, mas se obteve 0,84 e 0,42 mg Cl/L na amostra 4 quando aplicada a mesma dosagem e considerando os mesmos tempos de contato, confirmando o maior consumo de cloro que age como oxidante da matéria orgânica (DQO) mais elevada nas amostras 1 e 2, em relação à amostra 4.

A seguir são apresentadas as discussões acerca das orientações para reúso das águas cinzas cloradas, tomando como referência as recomendações da NBR 13.969/1997, OMS e USEPA.

- **NBR 13.969/1997**

A NBR 13.969/1997 é um documento da Associação Brasileira de Normas Técnicas que trata de tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Porém, existe um

tópico na referida norma que aborda o reúso local, ou seja, a reutilização do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, para fins não potáveis (Tabela 5).

Tabela 5: Classificação das águas de reúso quanto a sua aplicação apresentada pela NBR 13969/1997.

Classe	Uso	Turbidez (UNT)	Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	pH	Cloro residual (mg/L)	OD
Classe 1	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.	<5	<200	<200	De 6,0 a 8,0	De 0,5 a 1,5	---
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	<5	<500	---	---	<0,5	---
Classe 3	Descargas dos vasos sanitários.	<10	<500	---	---	---	---
Classe 4	Pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	---	<5000	---	---	---	>2,0

Fonte: Adaptado da NBR 13969/1997.

Em relação às exigências da norma (cloro residual variando de <0,5 a 1,5 mg/L, dependendo da finalidade do reúso), as dosagens de cloro foram suficientes para ajustar as águas cinzas aos padrões de cloro residual para algum tipo de reúso, exceto a dosagem de 30 mg Cl/L que excedeu o valor de 1,5 mg/L de cloro residual recomendado.

Ainda, a aplicação da água de reúso em lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes (classe 2), exigem menos de 0,5 mg/L de cloro residual e menos de 500 NMP/100mL de coliformes fecais (aqui representados por *E. coli*), o que tornaria possível a reutilização de águas cinzas cloradas com 7,5 mg Cl/L e 15 mg Cl/L após um tempo de contato de uma hora. Contudo, para o parâmetro turbidez a exigência é menos que 5 UNT, logo, como a cloração não deve atuar na remoção deste parâmetro e o efluente bruto apresenta mais de 97,08 UNT, o reúso das águas cinzas cloradas para esses fins não é recomendado.

Por outro lado, como os reúsos aplicados em descargas dos vasos sanitários (classe 3), pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual (classe 4) não exigem cloro residual, as águas cinzas cloradas com as concentrações de 7,5 e 15 mg Cl/L seriam também aplicáveis aqui. Além disso, a norma exige menos do que 500 NMP/100mL coliformes fecais para descargas dos vasos sanitários e valores inferiores a 5000 NMP/100mL para a classe 4 em questão, sendo, em princípio, as águas cloradas com tais concentrações passíveis de reúso.

Logo, como as águas de reúso classe 4 não tem restrição para turbidez, as águas cinzas cloradas com 7,5 e 15 mg Cl/L, assim como as que recebem as outras concentrações analisadas, são aplicáveis nessas situações, desconsiderando o oxigênio dissolvido (não analisado neste trabalho). Todavia, as descargas dos vasos sanitários, segundo a referida norma, necessitam de águas com turbidez menor do que 10 UNT, o que impossibilita o reúso para tal finalidade.

Já para os casos mais exigentes como lavagem de carros e outros que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes (classe 1), é necessário cloro residual de 0,5 a 1,5 mg/L, que apenas foi obtido com a dosagem de 22,5 Cl/L. Outros parâmetros, como coliformes fecais abaixo de 200 NMP/100mL e pH de 6,0 a 8,0 também corroboram o reúso das águas cinzas desinfetadas com essas dosagens para tais fins. Porém, a utilização das mesmas não é recomendada para esse caso, já que a turbidez de 97,08 a 287 UNT ultrapassa o limite da norma que é muito baixo, de 5 UNT.

• Organização Mundial de Saúde (OMS)

A Tabela 6 elenca os tipos de irrigação e respectivos valores de *E. coli* recomendados pela OMS. Nela, pode-se observar que os limites de referência vão de $\leq 10^3$ a $\leq 10^6$ *E. coli*/100 mL, correspondentes à irrigação irrestrita de culturas de raízes e à irrigação restrita subsuperficial com absorção no solo, respectivamente.

Tabela 6: Valores recomendados pela OMS para a utilização de águas residuárias tratadas.

Tipo de Irrigação	<i>E. coli</i> por 100 mL	Definição
Irrestrita	$\leq 10^3$	Culturas de raízes (ex.: cebola)
	$\leq 10^4$	Culturas de folhas (ex.: alface)
	$\leq 10^5$	Irrigação de plantas altas por gotejamento
	$\leq 10^3$	Irrigação de plantas baixas por gotejamento
	$\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$	O nível de verificação do tratamento depende das exigências da agência reguladora local
Restrita	$\leq 10^4$	Agricultura de trabalho intensivo (proteção para agricultores)
	$\leq 10^5$	Agricultura altamente mecanizada
	$\leq 10^6$	Remoção de patógenos em tanque séptico (irrigação subsuperficial via absorção no solo)

Fonte: Modificado de WHO (2006)

A OMS considera apenas *E. coli* como indicador da qualidade da água para irrigação, e, nesse caso, verificou-se apenas se as densidades desse microrganismo nas águas cinzas brutas e cloradas atenderam aos critérios de reúso dessa organização (ver Tabela 7).

De acordo com as referências da OMS, tanto as águas cinzas brutas quanto as desinfetadas podem ser utilizadas na agricultura, já que o maior valor encontrado foi de $1,0 \times 10^5$ (UFC/100 mL) correspondente ao efluente bruto. Todavia, para esse caso em particular, seria necessário a remoção de patógenos em tanque séptico, para posterior irrigação subsuperficial.

Quanto às águas cinzas desinfetadas com cloro, chegou-se à conclusão de que todas se enquadraram em algum tipo de irrigação sem necessitar de tratamento adicional, segundo as recomendações da OMS.

Tabela 7: Adequação das águas cinzas e cloradas aos critérios da OMS.

Recomendação da OMS			Águas cinzas (cloradas e bruta)								
Tipo de Irrigação	E. coli/ 100 mL	Definição	EB	C1		C2		C3		C4	
				T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Irrestrita	$\leq 10^3$	Culturas de raízes (ex.: cebola)		A	A	A	A	A	A	A	A
	$\leq 10^4$	Culturas de folhas (ex.: alface)		A	A	A	A	A	A	A	A
	$\leq 10^5$	Irrigação de plantas altas por gotejamento		A	A	A	A	A	A	A	A
	$\leq 10^3$	Irrigação de plantas baixas por gotejamento		A	A	A	A	A	A	A	A
	$\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$	O nível de verificação do tratamento depende das exigências da agência reguladora local				A**	A**	A**	A**	A**	A**
Restrita	$\leq 10^4$	Agricultura de trabalho intensivo (proteção para agricultores)		A	A	A	A	A	A	A	A
	$\leq 10^5$	Agricultura altamente mecanizada		A	A	A	A	A	A	A	A
	$\leq 10^6$	Remoção de patógenos em tanque séptico (irrigação subsuperficial via absorção no solo)	A*	A	A	A	A	A	A	A	A

C1, C2, C3 e C4 = concentrações 7,5, 15, 22,5 e 30 mg/L de cloro, respectivamente; T1 = 30 minutos; T2 = 60 minutos; EB=efluente bruto; * precisa de tratamento prévio no tanque séptico; ** dependerá dos níveis de exigência local; A = adequada

• **United States Environmental Protection Agency (USEPA)**

A USEPA utiliza como indicadores de qualidade da água de reúso: pH, DBO, turbidez, coliformes fecais, cloro residual e sólidos suspensos totais (SST) (Tabela 8). Além disso, são divididas em várias categorias as possibilidades de reutilização de águas servidas, ou seja: reúso urbano, irrigação de áreas de acesso restrito, reúso agrícola (e suas subdivisões), reúso na construção, reúso industrial e reúso ambiental (*wetlands*, habitats de vida selvagem, etc.).

Tabela 8: Alguns parâmetros apresentados no *Guidelines for Water Reuse da United States Environmental Protection Agency - USEPA*.

Categoria	pH	DBO (mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes Fecais (org./100 mL)	Cloro Residual (mg/L)	Sólidos Totais Suspensos (mg/L)
Reúso Urbano	6 a 9	< 10	< 2	Não detectáveis	> 1	-
Irrigação de áreas de acesso restrito	6 a 9	< 30	-	< 200 / 100	> 1	< 30
Reúso Agrícola - culturas não processadas comercialmente	6 a 9	< 10	< 2	Não detectáveis	> 1	-
Reúso Agrícola - culturas processadas comercialmente	6 a 9	< 30	-	< 200 / 100	> 1	-
Reúso Agrícola - culturas não comestíveis	6 a 9	< 30	-	< 200 / 100	> 1	< 30
Reúso na construção	6 a 9	< 30	-	< 200 / 100	> 1	< 30
Reúso industrial	6 a 9	< 30	-	< 200 / 100	> 1	< 30
Reúso Ambiental (<i>Wetlands</i> , habitats de vida selvagem, etc.)	-	< 30	-	< 200 / 100	-	< 30

Fonte: Adaptado de USEPA (2004)

Observando os critérios para reúso urbano e reúso agrícola em culturas não processadas comercialmente percebe-se que todas as amostras analisadas (cloradas e brutas) ultrapassaram os valores recomendados para turbidez (< 2 UNT) e coliformes fecais (não detectáveis). Além disso, nessas categorias, o cloro residual só estaria numa concentração adequada com a dosagem de 30 mg/L.

No caso da aplicação de águas de reúso na irrigação de áreas com acesso restrito (por ex. estradas e cemitérios), não se obteve resultados positivos em relação aos valores de sólidos suspensos totais, com um mínimo de 34 e máximo de 158 mg/L nas amostras de efluente bruto, que são superiores aos 30 mg/L recomendados.

Pelo mesmo motivo, as águas cinzas brutas e cloradas também não foram compatíveis para a aplicação de reúso no cultivo de culturas não comestíveis, na construção, na indústria e no meio ambiente (*wetlands*, habitats de vida selvagem, etc.).

Contudo, considerando os resultados de estudo anterior com as águas cinzas da mesma residência (REBÊLO, 2011) em que a DBO (média de 19 mg O_2 /L) estava abaixo dos valores indicados na Tabela 8, e os dados de pH, cloro residual e *E. coli* encontrados neste estudo, um possível destino para o efluente clorado com a dosagem de cloro de 22,5 e 30 mg/L é o reúso agrícola de culturas processadas comercialmente, de acordo com a USEPA.

Nota-se, então, que as características físico-químicas e microbiológicas analisadas das águas cinzas brutas e cloradas ultrapassaram todos os padrões correspondentes das categorias da USEPA, com exceção do reúso agrícola de culturas processadas comercialmente. Logo, para adequar os efluentes quanto aos sólidos suspensos e turbidez, seria necessário o emprego de alguma técnica de decantação ou filtração.

Tomando como base a NBR 13.969/1997, as orientações da OMS e o *Guidelines for Water Reuse da United States Environmental Protection Agency* (USEPA), várias conclusões podem ser obtidas.

A princípio, percebe-se que a OMS tem critérios mais flexíveis para o reúso de água do que a USEPA e NBR 13.969/1997, já que a primeira usa como referência apenas indicadores microbiológicos de qualidade, enquanto a segunda considera também vários parâmetros físico-químicos. Pode-se constatar que as características encontradas nas águas cinzas cloradas foram compatíveis para a reutilização em todos os tipos de irrigação, seguindo as diretrizes da OMS.

Por outro lado, de acordo com os critérios estabelecidos pela USEPA, apenas a aplicação de águas cinzas no reúso agrícola de culturas processadas comercialmente é possível. E, do mesmo modo, seguindo as recomendações da NBR 13.969/1997 constatou-se que a reutilização de esgotos na irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos, através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, é a única alternativa segura para a destinação de águas cinzas cloradas com finalidade de reúso.

CONCLUSÕES

As análises realizadas apresentaram resultados positivos em relação à desinfecção das águas cinzas, com a redução de coliformes totais e *Escherichia coli*, além da degradação da matéria orgânica observada nos dados encontrados para DQO.

Com a caracterização do efluente bruto verificou-se que os valores de turbidez (máximo de 287,00 UNT) e sólidos suspensos totais (máximo de 158 mg/L) são muito superiores aos recomendados para o reúso. Pode-se deduzir que esses valores não reduziram com a cloração, já que ela tem apenas a finalidade desinfetante e oxidante.

Por outro lado, a eficiência de desinfecção foi significativa, apresentando redução superior a 3,7 log para as concentrações de *E. coli* e de até 4,95 log de coliformes totais. Isso possibilitou a conformidade das características microbiológicas das águas cinzas cloradas para alguns tipos de reúso não potável.

Os dados obtidos revelaram que as águas cinzas cloradas, em geral, podem ser aplicadas na irrigação de vários tipos de culturas, de acordo com os parâmetros da OMS.

Numa situação mais específica, segundo a USEPA, o reúso agrícola voltado para culturas processadas comercialmente seria possível com águas cinzas cloradas com 22,5 e 30 mg Cl/L. E, a fim de se ampliar a reutilização de águas cinzas para outras categorias, seria necessária a combinação da cloração com outra(s) técnicas, como a filtração.

E, do mesmo modo, seguindo as recomendações da NBR 13.969/1997 constatou-se que a reutilização dessas águas servidas em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual seria a única alternativa segura para a destinação de águas cinzas cloradas com qualquer das dosagens aqui aplicadas.

Cabe comentar ainda que outros estudos seriam necessários para a real aplicação de água de reúso na agricultura, já que é possível haver a presença de subprodutos nessas águas (cinzas e cinzas cloradas), que poderia comprometer tanto a produtividade das culturas como a saúde dos consumidores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 20th edition. Washington. 2005.
2. 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, p. 21.
3. DANIEL, L. A. (Coord.). Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. PROSAB. Rede Corporativa de Pesquisas. São Paulo, 2001.
4. GLOBO (2015). Como economizar água: dicas para reduzir o consumo e evitar o desabastecimento. Disponível e < <http://g1.globo.com/sao-paulo/blog/como-economizar-agua/1.html>>. Acesso em 25.02.2015.
5. GONÇALVES, R. F.; BAZZARELLA, B. B.; PETERS, M. R.; PHILLIPPI, L. S. Gerenciamento de águas cinzas. Cap. 4. In: Uso Racional da Água em Edificações / Ricardo Franci Gonçalves (Coord.). Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
6. REBÊLO, M. M. P. S. Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2011.
7. TELLES, D. A; COSTA, R. H. P. G. Reúso da água: conceitos, teorias e práticas. Editora Blucher. São Paulo, 2007.
8. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Guidelines for Water Reuse. Washington, DC, 2004.
9. World Health Organization (WHO). WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. França, 2006.