

II-093 - AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS (AQRM) ASSOCIADOS À *E. COLI* EM ÁGUAS CINZAS: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ-AL

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira⁽¹⁾

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (Campus II - Campina Grande). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora Titular do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Ivo Gabriel Guedes Alves

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela UFAL. Mestrando em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Marcio Gomes Barboza

Engenheiro Civil pela UFAL. Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Associado VI do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Endereço⁽¹⁾: Av. Lourival Melo Mota, s/n – Tabuleiro do Martins - Maceió – AL. CEP: 57072-900 - Brasil - Tel: (82) 3214-1275 - e-mail: ivete.vlopes@outlook.com.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a quantificação dos riscos biológicos à saúde humana envolvidos no reúso de águas cinzas misturadas, e águas cinzas de máquina de lavar, em diferentes atividades potenciais de reúso, com base em um microrganismo alvo, sendo neste trabalho a bactéria *E. coli*, que amplamente utilizada como indicador de contaminação fecal. O efluente foi coletado em três residências unifamiliares no município de Maceió-AL. A determinação dos riscos foi realizada com base na metodologia da Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM). Os riscos foram comparados com valores estabelecidos nas diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) para determinar o valor máximo da concentração de microrganismos admissível para realização de uma determinada atividade-fim de forma segura (valor máximo permitido). Também foi determinado o nível de tratamento a que os efluentes devem ser submetidos para que se adequem a estes padrões. Os resultados indicam que os riscos microbiológicos têm influência da fonte geradora do efluente, sendo as águas cinzas misturadas as que apresentam maior nível de risco. O cenário de exposição também é preponderante nos níveis de riscos submetidos. Os valores calculados mostram que diretrizes de referência sobre reúso, de forma geral, poderiam ser mais flexíveis em algumas atividades domésticas potenciais de reúso, sem comprometer a saúde do usuário. O tratamento demanda níveis de elevada eficiência que podem ser alcançadas através da cloração, uma alternativa de baixo custo e fácil instalação.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso, AQRM, Valores Máximos Permitidos.

INTRODUÇÃO

No Brasil, apesar da grande disponibilidade hídrica, a má distribuição do recurso coloca algumas regiões em estado de escassez, como é o caso da região nordeste. Encontrar alternativas que poupem e preservem a qualidade dos mananciais de água doce tornou-se uma necessidade para garantir abastecimento público. Uma alternativa potencial é o reúso de águas cinzas no ambiente urbano. Essa opção, porém, ainda possui muitas lacunas com relação aos critérios de segurança à saúde a serem seguidos.

Conhecer os riscos é essencial para que se possa regularizar esta alternativa tecnológica e criar diretrizes para o seu uso seguro em todo o mundo. Esses efluentes apresentam características extremamente variáveis, sendo necessários estudos sobre os riscos envolvidos nas atividades de reúso pretendidas. Para tanto, devem-se estimar os valores máximos de concentração de microrganismos e qual o nível de tratamento recomendado, de maneira que o efluente possa ser reutilizado com segurança.

A análise quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM) é um método que combina conhecimento científico sobre a presença e natureza de um microrganismo, rotas de exposição e efeitos à saúde. Surgiu da necessidade de se quantificar os riscos químicos associados à poluição ambiental (WHO, 2016). No início da década de 1980, a agência de proteção ambiental norte-americana (USEPA - *United States Environmental Protection Agency*) começou a perceber a necessidade de buscar meios e ferramentas que pudessem estimar os riscos à saúde humana envolvidos no consumo de água, além de propor formas de tratamento para mitigar estes riscos (RIGOTTO, 2013). Charles Haas, em 1983, deu início à abordagem quantitativa de riscos microbiológicos associados ao consumo de água potável. Tal abordagem foi baseada em modelos dose-resposta advindos de modelos matemáticos das bases de dados existentes de experimentos sobre exposição humana, que poderiam estimar a probabilidade de infecção. O uso de modelos de probabilidade de infecção passou a ser considerado para o desenvolvimento de padrões de bactérias, vírus e protozoários e assim criou-se o campo da Análise Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM).

Várias pesquisas sobre avaliação e risco microbiológicos foram realizadas, com diferentes microrganismos e objetivos. Rose et al. (1991) conduziram uma avaliação de risco microbiológico para estimar o risco de infecção por cistos de *Giardia* veiculado à água de consumo. Haas et al. (1996) também utilizaram a avaliação de risco microbiológico para determinar a concentração máxima de oocistos de *Cryptosporidium parvum* em águas de consumo para que o risco anual de infecção tolerável não superasse 10^{-4} pppa (por pessoa por ano). Leal (2005) avaliou os riscos associados à ocorrência de protozoários em águas de abastecimento. Ignoto (2010) realizou um estudo sobre o estado da arte da avaliação quantitativa de risco microbiológico em águas e biossólidos. Matangue (2015) realizou um trabalho sobre a AQRM aplicada ao uso de águas residuárias para irrigação.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os riscos microbiológicos decorrentes do reúso de águas cinzas produzidas em residências unifamiliares da cidade de Maceió/AL, sendo seus objetivos específicos: (i) utilizar a ferramenta de AQRM relativa à *E. coli*, para estimar o risco quantitativo de infecção quando do reúso de águas cinzas misturadas e de máquina de lavar, por finalidade de reúso; (ii) indicar os Valores Máximos Permitidos para *E. coli*, em função da finalidade de reúso de cada um dos efluentes; e (iii) avaliar a necessidade e a eficiência de desinfecção de cada um dos efluentes, com base nos conceitos da OMS de risco aceitável e de risco tolerável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sistemas experimentais – As fontes de águas cinzas brutas investigadas foram: águas cinzas misturadas e de máquina de lavar roupas, conforme descrito a seguir.

- (i) Águas cinzas misturadas compostas por efluentes de máquina de lavar, chuveiro e lavatórios, coletadas de uma residência unifamiliar (residência 1), localizada na cidade de Maceió-AL, cuja caracterização foi realizada por Rebêlo (2011). A residência foi projetada e construída com duas linhas de efluentes, totalmente segregadas, entre águas cinzas e negras.
- (ii) Águas cinzas de máquina de lavar roupas coletadas e caracterizadas por Lopes (2016), correspondente ao segundo ciclo de enchimento da máquina (1º enxágue), referentes à residência 2, localizada na cidade de Maceió-AL.
- (iii) Águas cinzas de máquina de lavar roupas coletadas e caracterizadas por Alves (2017), correspondente ao segundo ciclo de enchimento da máquina (1º enxágue), referentes à residência 3, localizada na cidade de Maceió-AL.

Análise Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) - A metodologia utilizada teve como base trabalhos com objetivos semelhantes ao que foi aqui proposto, como o de Pasin (2013).

O estudo envolveu as quatro etapas fundamentais da AQRM descritas por Haas et al. (2014) em que são determinados numericamente os riscos de infecção por *E. coli* por finalidade de reúso. As etapas seguintes consistem na determinação da viabilidade do reúso imediato; determinação dos valores máximos permitidos (VMP) com base nas diretrizes da OMS (Organização Mundial da Saúde); comparação dos mesmos com os valores estabelecidos em norma da ABNT (1997) e pelo SINDUSCON (2005), e indicação dos níveis de tratamentos recomendados. As etapas metodológicas envolvidas são ilustradas no fluxograma da Figura 1.

Análise Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM)

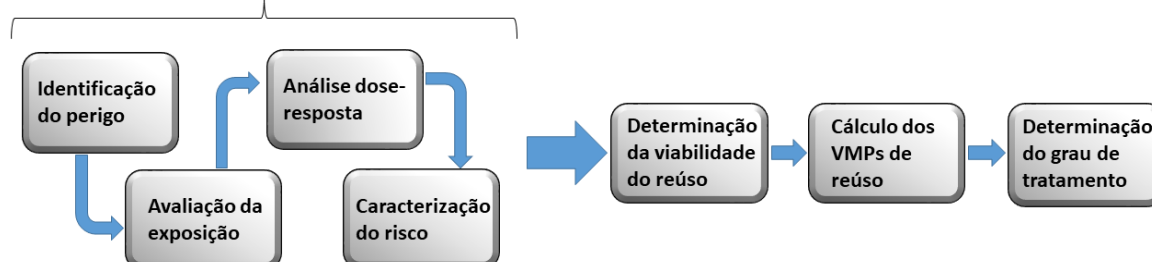


Figura 1: Fluxograma da metodologia de trabalho.

A identificação do perigo consiste no levantamento bibliográfico acerca do microrganismo alvo do estudo, *E. coli*. Levou-se em consideração a sua natureza e consequências ao hospedeiro a partir da infecção e avaliou-se sua concentração nas águas cinzas brutas, por modalidade de reúso, coletadas de estudos realizados em três residências unifamiliares do município de Maceió.

A avaliação de exposição estima a quantidade de patógenos que é ingerida em uma determinada atividade-fim. O valor da exposição foi estimado a partir do volume médio que pode ser ingerido durante a atividade-fim, levando em conta as rotas e frequências de exposição. Os valores dos parâmetros da Tabela 1 são baseados em opiniões de especialistas, dada à ausência de dados.

Tabela 1: Distribuição da exposição relacionada à água de reúso.

Atividade	Rota de exposição	Volume (mL)	Frequência (ano)
		[mínimo; médio; máximo]	[média; desvio padrão]
Irrigação de jardim	Aerossol	[0,01; 0,1; 0,5]	[150; 20]
	Ingestão (exposição rotineira)	[0,1; 1; 2]	[150; 20]
	Ingestão acidental	[10; 100; 200]	[1; -]
Irrigação de áreas públicas	Ingestão (exposição rotineira)	[0,1; 1; 10]	[60; 10]
Irrigação de culturas alimentares	Ingestão de alimentos cultivados	[1; 5; 20]	[150; 20]
Descarga de vaso sanitário	Aerossol	[0,01; 0,1; 0,5]	[1460; 100]
Máquina de lavar roupas	Aerossol	[0,01; 0,1; 0,5]	[150; 20]
Balneabilidade	Ingestão	[10; 25; 100]	[40; 10]
Lavagem de veículos	Aerossol	[0,01; 0,1; 0,5] ^(a)	[48; -] ^(b)
	Ingestão (exposição rotineira)	[0,1; 1; 2] ^(a)	[48; -] ^(b)
Lavagem de pisos	Aerossol	[0,01; 0,1; 0,5] ^(c)	[11,06; -] ^(b)
	Ingestão (exposição rotineira)	[0,1; 1; 2] ^(c)	[11,06; -] ^(b)

Fontes: ASHBOLT et al. (2005); ^(a) ZANETI et al. (2011); ^(b) Adaptado de TOMAZ (2003); ^(c) PASIN (2013).

De posse dos valores de volume ingerido de águas cinzas, considerando as rotas de exposição para cada atividade-fim e a concentração de microrganismos presentes nas águas cinzas brutas levantadas neste estudo, expressas em UFC/mL, foi possível calcular a dose (Equação 1):

$$\text{Dose} = E. coli \text{ na água cinza (UFC/mL)} \times \text{Volume ingerido (mL)} \quad (1)$$

A análise dose-resposta busca relacionar a dose do agente microbiológico decorrente de uma única exposição com o risco de resposta adversa infecciosa no indivíduo. Para este fim, são utilizados os modelos de análise dose-resposta, que são funções matemáticas que utilizam como argumento a medida de dose para calcular a probabilidade de ocorrência de um determinado efeito adverso, medido de zero (efeito nulo) a um (ocorrência completa do estado adverso). O modelo dose-resposta escolhido foi o de Beta-Poisson, (HAAS et al., 2001) (Equação 2), que, após simplificado resulta na Equação 4 (DuPONT et al., 1971).

$$P_i = 1 - \left[1 + \frac{d}{N_{50}} (2^{\frac{1}{\alpha}} - 1)\right]^{-\alpha} \quad (2)$$

$$N_{50} = \beta (2^{\frac{1}{\alpha}} - 1) \quad (3)$$

$$P_i = 1 - \left(1 + \frac{d}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (4)$$

P_i : probabilidade de infecção para uma única exposição;

d : dose ou número de patógenos ingeridos (Equação 1);

N_{50} : dose capaz de provocar sintomas clínicos em 50% dos indivíduos em contato com água contaminada (Equação 3)

α e β : parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro, obtidos por meio de observações e experimentações, $1,55 \times 10^{-1}$ e de $2,44 \times 10^4$, respectivamente.

Para a caracterização de risco determinou-se o risco para múltiplas exposições durante um período de tempo de até um ano, conforme a Equação 5.

$$P_n = 1 - (1 - P_i)^n \quad (5)$$

P_n : risco anual;

P_i : probabilidade de infecção do usuário para uma única exposição (Equação 4);

N : número ou frequência de exposições no ano.

Determinação da viabilidade de reúso imediato para fins não potáveis - foi realizada comparando-se com as diretrizes estabelecidas pela OMS acerca dos riscos aceitáveis em cenários extremos de exposição. Os valores considerados são de 10^{-3} pppa (por pessoa por ano) para doenças diarreicas (WHO, 2008).

Cálculo dos Valores Máximos Permitidos (VMPs) - foi realizado de forma inversa ao que foi feito nas etapas de avaliação de exposição, análise dose-resposta e caracterização do risco, partindo dos riscos estabelecidos pela OMS $P_n = 10^{-3}$ a fim de obter uma faixa de VMP de *E. coli* que forneça riscos aceitáveis para o usuário de águas cinzas.

Os VMPs calculados foram comparados com os constantes em normas e orientações sobre reúso não potável de efluentes, a exemplo da NBR 13969/1997 (ABNT, 1997) e SINDUSCON (2005) (Tabela 2).

Tabela 2: Padrões microbiológicos em função da atividade de reúso.

Referência	Atividade-fim para reúso				
	Lavagem de carros	Lavagem de pisos	Descargas de vasos sanitários	Irrigação de jardins	Agricultura
	Concentração de coliformes fecais ^(a)				
NBR 13969/1997	< 200 (NMP/100 mL)	< 500 (NMP/100 mL)	< 500 (NMP/100 mL)	< 500 (NMP/100 mL)	< 5000 (NMP/100 mL)
SINDUSCON (2005)	não detectáveis	não detectáveis	não detectáveis	≤ 200 (NMP/100 mL)	-

NMP: número mais provável; ^(a) o termo “coliformes fecais” está em desuso, e, neste trabalho, foi representado pelo indicador *E. coli*.

Fonte: adaptada de ABNT (1997) e SINDUSCON (2005).

Determinação do grau de tratamento para a água de reúso - foi determinada a eficiência do tratamento de desinfecção recomendada para cada um dos efluentes e cenários de exposição que ultrapassaram os VMPs calculados com base nos parâmetros da OMS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, apresenta-se os resultados dos exames microbiológicos para determinação *E. Coli*, através da Tabela 3, realizados nas residências 1, 2 e 3.

Tabela 3: Características das águas cinzas avaliadas.

Residência	Fonte	Nº de amostras	Concentração média de <i>E. coli</i> (UFC/100mL)	Desvio padrão (UFC/100mL)
1	Águas cinzas misturadas	15	1,03E+06	1,90E+06
2	Máquina de lavar	13	2,60E+02	8,30E+01
3	Máquina de lavar	6	1,23E+03	2,83E+03

Os riscos avaliados nas atividades-fim abordadas estão indicados na Tabela 4, com os cenários de exposição com os menores riscos para cada uma delas. Como esperado, os menores riscos foram provenientes do efluente com menor concentração de microrganismos que foi fornecido pela fonte de máquina de lavar na residência 2, associado aos menores volumes ingeridos em cada uma das rotas de exposição, produzindo assim as menores doses. O reúso imediato de águas cinzas para todas as atividades mostrou-se viável para esse efluente em pelo menos um dos cenários de exposição, com exceção das atividades de irrigação de culturas alimentares, cujos riscos podem diminuir em função do sistema de irrigação (FINLEY, 2008), e balneabilidade, que se mostrou impraticável em todos os cenários de exposição avaliados.

Tabela 4: Menores riscos de infecção anual ao usuário, por *E. coli*, e viabilidade de reúso imediato para as atividades-fim decorrentes da fonte de reúso e rotas de exposição.

Atividade	Fonte ⁽¹⁾	Rotas de exposição	Risco (pppa)	Viabilidade do reúso
Irrigação de Jardim	Máquina de lavar	Aerossol	2,5E-05	SIM
Irrigação de áreas públicas	Máquina de lavar	Ingestão (exposição rotineira)	9,9E-05	SIM
Irrigação de culturas alimentares	Máquina de lavar	Ingestão de alimentos cultivados	2,5E-03	NÃO
Descarga de vaso sanitário	Máquina de lavar	Aerossol	2,4E-04	SIM
Máquina de lavar roupas	Máquina de lavar	Aerossol	2,5E-05	SIM
Balneabilidade	Máquina de lavar	Ingestão	6,6E-03	NÃO
Lavagem de Pisos	Máquina de lavar	Aerossol	1,8E-06	SIM
Lavagem de Veículos	Máquina de lavar	Aerossol	7,9E-06	SIM

(1) Residência 2.

Analogamente, na Tabela 5, que resume os maiores riscos encontrados em cada uma das atividades-fim, verifica-se que os maiores riscos calculados foram provenientes das águas cinzas misturadas (residência 1), apresentando quase 100% da população exposta com chance de infecção. A exceção foi para a atividade de lavagem de pisos que, por apresentar os melhores cenários de exposição, alcançou no máximo 65% de risco de infecção, o que, ainda assim, é inaceitável para um reúso sem tratamento prévio. O fato das águas cinzas misturadas incorporarem efluentes de lavatório e chuveiro, contribuiu para a maior concentração de *E. coli*. Essa diferença foi capaz de inviabilizar o reúso deste efluente para qualquer uma das atividades-fim sugeridas, em qualquer um dos cenários de exposição, sendo necessário, de imediato, algum tratamento para o mesmo.

Tabela 5: Maiores riscos de infecção anual ao usuário, por *E. coli*, e viabilidade de reúso imediato para as atividades-fim decorrentes da fonte de reúso e rotas de exposição.

Atividade	Fonte ⁽¹⁾	Rotas de exposição	Risco (pppa)	Viabilidade do reúso
Irrigação de Jardim	Águas cinzas Misturadas	Ingestão por exposição rotineira	1,0E+00	NÃO
Irrigação de áreas públicas	Águas cinzas Misturadas	Ingestão por exposição rotineira	1,0E+00	NÃO
Irrigação de culturas alimentares	Águas cinzas Misturadas	Ingestão de alimentos cultivados	1,0E+00	NÃO
Descarga de vaso sanitário	Águas cinzas Misturadas	Aerossol	1,0E+00	NÃO
Máquina de lavar roupas	Águas cinzas Misturadas	Aerossol	1,0E+00	NÃO
Balneabilidade	Águas cinzas Misturadas	Ingestão	1,0E+00	NÃO
Lavagem de Pisos	Águas cinzas Misturadas	Ingestão por exposição rotineira	6,5E-01	NÃO
Lavagem de Veículos	Águas cinzas Misturadas	Ingestão por exposição rotineira	1,0E+00	NÃO

(1) Residência 1.

Determinação dos valores máximos permitidos (VMPs)

Considerando que este trabalho tem como premissa atingir os valores de riscos toleráveis dentro dos parâmetros considerados seguros, na Tabela 6 são indicadas quais as concentrações máximas que refletem tais níveis de segurança dentro da diretriz de 10^{-3} pppa para doenças diarreicas, com base no pior cenário de exposição, considerando o volume ingerido e a frequência anual de exposição em cada uma das atividades de reúso. Segundo a WHO (2006), as doenças diarreicas são responsáveis pela morte de 1,8 milhão de pessoas anualmente no mundo, sendo 88% destas mortes associadas ao consumo de água contaminada e outras condições inadequadas de saneamento.

Na Tabela 7 apresentam-se os VMPs comparados com os valores de referência (SINDUSCON, 2005; ABNT 1997), para cada uma das atividades, para os piores e melhores cenários, levando em consideração os riscos da OMS de 10^{-3} pppa para doenças diarreicas. Os valores marcados em verde representam valores dentro das exigências da NBR 13.969/97, enquanto que os valores em destaque rosa representam os valores dentro das exigências do Manual do SINDUSCON (2005) e da NBR 13.969/97, simultaneamente. Por serem mais permissivos, os valores da NBR 13.969/97 englobam todos os valores exigidos pelo manual do SINDUSCON (2005).

No caso do risco de 10^{-3} pppa os VMPs são mais elevados e configuram uma faixa de valores muito mais permissiva em relação às referências, o que corrobora para ampliar a faixa de valores que compreendem os riscos toleráveis no reúso de águas cinzas.

Tabela 6: Valores máximos permitidos (VMP) de *E. coli* para as atividades considerando volumes ingeridos, frequência anual nos melhores e piores cenários possíveis e um risco máximo tolerável de 10^{-3} para doenças diarreicas.

Atividade	Pior cenário			Melhor cenário		
	Rotas de exposição/ Volume ingerido (mL)	Frequência anual	VMP (UFC/100mL)	Rotas de exposição/ volume ingerido (mL)	Frequência anual	VMP (UFC/100mL)
Irrigação de Jardim	Ingestão por exposição rotineira / (2)	150	5,25E+01	Aerossol/(0,01)	150	1,05E+04
Irrigação de áreas públicas	Ingestão por exposição rotineira/ (10)	60	2,63E+01	Ingestão por exposição rotineira /(0,1)	60	2,63E+03
Irrigação de culturas alimentares	Ingestão de alimentos cultivados/ (20)	150	5,30E+00	Ingestão de alimentos cultivados/ (1)	150	1,05E+02
Descarga de vaso sanitário	Aerossol/ (0,5)	1460	2,16E+01	Aerossol /(0,01)	1460	1,08E+03
Máquina de lavar roupas	Aerossol/ (0,5)	150	2,10E+02	Aerossol/ (0,01)	150	1,05E+04
Balneabilidade	Ingestão /(100)	40	3,90E+00	Ingestão /(10)	40	3,94E+01
Lavagem de Pisos	Ingestão por exposição rotineira /(2)	11,06	7,12E+02	Aerossol /(0,01)	11,06	1,42E+05
Lavagem de Veículos	Ingestão por exposição rotineira /(2)	48	1,64E+02	Aerossol/ (0,01)	48	3,28E+04

Tabela 7: Comparação entre os VMPs obtidos para os riscos toleráveis e os valores de referência das diretrizes consultadas.

Atividade	Risco 10^{-3} pppa ⁽¹⁾		Valores de referência	
	Pior cenário	Melhor cenário	NBR 13.969/97	Manual do SINDUSCON
	VMP (UFC/100mL)	VMP (UFC/100mL)		
Irrigação de Jardim	5,25E+01	1,05E+04	< 500	< 200
Irrigação de áreas públicas	2,63E+01	2,63E+03	< 500	-
Irrigação de culturas alimentares	5,30E+00	1,05E+02	< 5000 ⁽²⁾	-
Descarga de vaso sanitário	2,16E+01	1,08E+03	< 500	N.D.
Máquina de lavar roupas	2,10E+02	1,05E+04	-	N.D.
Balneabilidade	3,90E+00	3,94E+01	-	-
Lavagem de Pisos	7,12E+02	1,42E+05	< 500	N.D.
Lavagem de Veículos	1,64E+02	3,28E+04	< 200	N.D.

Valores dentro dos limites da NBR 13.969/97;

Valores dentro dos limites do Manual SINDUSCON e da NBR 13.969/97;

N.D. Concentração não detectável;

(1) Risco limite para doenças diarreicas (WHO, 2008);

(2) Cultivo por meio de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Tratamento recomendado

Os valores máximos permitidos calculados no item anterior permitem estabelecer qual a eficiência de desinfecção de águas cinzas brutas para que estejam em conformidade com os riscos aceitáveis determinados pela OMS.

Nas Tabelas 8 e 9 são indicados os níveis de eficiência na desinfecção das águas cinzas para as atividades nos piores e melhores cenários (rotas de exposição; volume ingerido e frequência anual) tais quais estão descritos na Tabela 7 considerando o risco limite de 10^{-3} pppa. Para todas as atividades, os maiores riscos foram provenientes do efluente de águas cinzas misturadas da residência 1 com concentração de $1,03 \times 10^6$ UFC/100 mL e os menores riscos foram provenientes da água de máquina de lavar da residência 2 com concentração de $2,60 \times 10^2$ UFC/100 mL. Considerando estas concentrações de microrganismos, determinou-se o nível de tratamento por desinfecção para que o risco sujeitável esteja dentro dos admissíveis pela OMS para cada atividade considerando ambos os níveis de concentração no efluente.

A concentração na residência 3 é intermediária em relação às duas primeiras residências. A Tabela 10 mostra que, no melhor cenário de exposição, para o risco tolerável de 10^{-3} pppa, o tratamento ainda é dispensável na maior parte das atividades com exceção da irrigação de culturas alimentares, balneabilidade e também a descarga de vasos sanitários com 12,29% de eficiência. Nos piores cenários, o tratamento é recomendado com alto nível de eficiência para todas as atividades consideradas a exceção da lavagem de pisos com 42,10% de eficiência.

Tabela 8: Níveis de tratamento nos piores e melhores cenários para o efluente da residência 1 considerando um risco tolerável de 10^{-3} pppa.

Atividade	Concentração do efluente (UFC/100mL)	Pior cenário		Melhor cenário	
		VMP (UFC/100mL)	Eficiência de remoção (%)	VMP (UFC/100mL)	Eficiência de remoção (%)
Irrigação de Jardim	$1,03 \times 10^6$	5,25E+01	99,995	1,05E+04	98,981
Irrigação de áreas públicas		2,63E+01	99,997	2,63E+03	99,745
Irrigação de culturas alimentares		5,30E+00	99,999	1,05E+02	99,990
Descarga de vaso sanitário		2,16E+01	99,998	1,08E+03	99,895
Máquina de lavar roupas		2,10E+02	99,980	1,05E+04	98,981
Balneabilidade		3,90E+00	100,000	3,94E+01	99,996
Lavagem de Pisos		7,12E+02	99,931	1,42E+05	86,214
Lavagem de Veículos		1,64E+02	99,984	3,28E+04	96,816

N.A.: Tratamento não aplicável. Concentração do efluente bruto dentro dos limites do VMP calculado.

Tabela 9: Níveis de tratamento nos piores e melhores cenários para o efluente da residência 2 considerando um risco tolerável de 10^{-3} pppa.

Atividade	Concentração do efluente (UFC/100mL)	Pior cenário		Melhor cenário	
		VMP (UFC/100mL)	Eficiência de remoção (%)	VMP (UFC/100mL)	Eficiência de remoção (%)
Irrigação de Jardim	2,60x10 ²	5,25E+01	79,808	1,05E+04	N.A.
Irrigação de áreas públicas		2,63E+01	89,885	2,63E+03	N.A.
Irrigação de culturas alimentares		5,30E+00	97,962	1,05E+02	59,615
Descarga de vaso sanitário		2,16E+01	91,692	1,08E+03	N.A.
Máquina de lavar roupas		2,10E+02	19,231	1,05E+04	N.A.
Balneabilidade		3,90E+00	98,500	3,94E+01	84,846
Lavagem de Pisos		7,12E+02	N.A.	1,42E+05	N.A.
Lavagem de Veículos		1,64E+02	36,923	3,28E+04	N.A.

N.A.: Tratamento não aplicável. Concentração do efluente bruto dentro dos limites do VMP calculado.

Tabela 10: Níveis de tratamento nos piores e melhores cenários para o efluente da residência 3 considerando um risco tolerável de 10^{-3} pppa.

Atividade	Concentração do efluente (UFC/100mL)	Pior cenário		Melhor cenário	
		VMP (UFC/100mL)	Eficiência de remoção (%)	VMP (UFC/100mL)	Eficiência de remoção (%)
Irrigação de Jardim	1,23x10 ³	5,25E+01	95,732	1,05E+04	N.A.
Irrigação de áreas públicas		2,63E+01	97,862	2,63E+03	N.A.
Irrigação de culturas alimentares		5,30E+00	99,569	1,05E+02	91,463
Descarga de vaso sanitário		2,16E+01	98,244	1,08E+03	12,195
Máquina de lavar roupas		2,10E+02	82,927	1,05E+04	N.A.
Balneabilidade		3,90E+00	99,683	3,94E+01	96,797
Lavagem de Pisos		7,12E+02	42,114	1,42E+05	N.A.
Lavagem de Veículos		1,64E+02	86,667	3,28E+04	N.A.

N.A.: Tratamento não aplicável. Concentração do efluente bruto dentro dos limites do VMP calculado.

Dentre os agentes desinfetantes de maior uso por questões de custos competitivos, fácil técnica de aplicação, controle e disponibilidade, está o cloro, que é amplamente disseminado no Brasil (DANIEL, 2000). Por estes motivos, pode ser o agente de desinfecção mais recomendado para utilização em sistemas domésticos de reúso.

Um estudo realizado por Santos Neto et al. (2014), com uso de pastilhas de cloro comercial (tricloro-s-triazina triona) na desinfecção de águas cinzas misturadas, com concentração de 13,2 mg/L de cloro e tempo de contato

de 30 min, mostrou-se suficiente para a redução dos índices de *E. coli* de 10^6 UFC/100 mL para 10^2 UFC/100 mL (4 logs). Outro estudo sobre desinfecção de águas cinzas conduzido por Bezerra et al. (2015), com utilização de água sanitária como desinfetante (hipoclorito de sódio com teor de cloro ativo entre 2,0 e 2,5% p/p), indicou uma redução superior a 3,7 log para as concentrações de *E. coli*, com dosagem de 15 mg/L e redução de até 4,95 log de coliformes totais para a dosagem de 30 mg/L, sendo o tempo de contato em ambos casos de 60 minutos. Tais pesquisas demonstram que a desinfecção pode ser realizada em ambiente doméstico com produtos de fácil obtenção e aplicação, aumentando as possibilidades de reúso das águas cinzas no local de geração.

CONCLUSÕES

Para realizar a desinfecção dos efluentes para reúso nas atividades que se mostraram inviáveis ao reúso imediato, considerando os riscos admissíveis para doenças diarreicas e carga de doença tolerável pelo consumo de água potável, os níveis de eficiência de tratamento devem estar acima de 90% para a maior parte das atividades. Uma boa alternativa para atender a este requisito são os sistemas de cloração que possuem baixo custo e fácil aplicação, ideais para utilização em ambientes domésticos como é o intento deste trabalho.

Os valores estabelecidos na NBR 13.969/97 são mais permissivos, sendo os VMPs calculados neste trabalho com base nos parâmetros da OMS (2008), mais restritivos. Devem-se reavaliar, com base no conhecimento desenvolvido, os valores disponíveis nesta diretriz. Já o mais recente Manual do SINDUSCON (2005), apresenta valores restritivos para as atividades avaliadas.

Espera-se que este trabalho possa fomentar discussões acerca da determinação das normativas nacionais ou locais sobre o reúso de águas cinzas a fim de aliviar as pressões sobre os recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969/1997. Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, p. 21-22.
2. ALVES, I. G. G. Avaliação da qualidade de águas cinzas armazenadas, com finalidade de reúso: Avaliação microbiológica de águas cinzas armazenadas, com finalidade de reúso. Maceió: Programa institucional de bolsas de iniciação científica – PIBIC CNPq/UFAL/FAPEAL, 2017.
3. ASHBOLT, N.; PETTERSON, S. R.; STENSTRÖM, THOR-AXEL; SCHONNING, C.; WESTRELL, T.; OTTOSON, J. Microbial risk assessment (MRA) Tool. Urban Water Chalmers University of Technology. Sweden. 2005. p.23-24.
4. BEZERRA, R. M. C. M.; FERREIRA, I. V. L.; BARBOZA, M. G. Cloração de águas cinzas com finalidade de reúso. In: 28^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Rio de Janeiro, RJ, 2015. *Anais Eletrônicos*.
5. DANIEL L. A. Alternativas para desinfecção de esgotos sanitários. Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento, Vitória-Espírito Santo. 54-59, 2000.
6. DUPONT, H.L., SAMUEL B. FORMAL, S.B; HORNICK, R. B; SNYDER, M. J; LIBONATI, J.P; SHEAHAN, D.G; LABREC, E.H.; KALAS, J.P. Pathogenesis of Escherichia coli diarrhea. The New England Journal of Medicine. v. 285, n. 1, 1971, p.1-9.
7. FINLEY, S. Reciclagem de águas cinzas para produção de alimentos em Montreal, Canadá. Revista de Agricultura Urbana, n. 20, p. 74-76, 2008.
8. HAAS, C. How to average microbial densities to characterize risk. Water Research, v. 30, n. 4, p. 1036-1038, 1996.
9. HAAS, C. N.; EISENBERG, J. N. S. Risk assessment. In: FEWTRILL, L; BARTRAM J.(eds.) Water quality guidelines, standards and health: assessment of risk and risk management for water related infectious disease. Londres: WHO/IWA Publishing, 2001, p. 162-183.
10. HAAS, C. N.; ROSE, J. B.; GERBA, C. P. Quantitative microbial risk assessment. New York: John Wiley & Sons, 2014.
11. IGNOTO, R. F. Avaliação quantitativa de risco microbiológico em águas e biossólidos: estado da arte. Dissertação de mestrado — Universidade de São Paulo (USP), 2010.

12. LEAL, P. M. R. M. Avaliação do risco microbiológico associado à ocorrência de protozoários em sistemas de abastecimento de água: Um estudo na cidade de Divinópolis, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005.
13. LOPES, E. W. R. Avaliação da qualidade de águas cinzas durante armazenamento, com finalidade de reúso. 2016, 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Alagoas, 2016.
14. PASIN, D. B. Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) Associados à E. coli em águas cinza. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2013.
15. REBÊLO, M. M. P. S. Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbico com chicanas. 2011. Dissertação (mestrado em Engenharia: Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas - AL, Maceió, 2011.
16. RIGOTTO, C. Avaliação quantitativa de risco microbiológico no suporte à gestão de recursos hídricos. 2013. (Apresentação de Trabalho/Simpósio).
17. ROSE, J. B., SUN, G. S., GERBA, C. P.; SINCLAIR, N. A. Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources. Water Research, vol. 25, no.1, p. 37-42. 1991.
18. SANTOS NETO, A. G.; SANTOS, J. K. P.; LIMA, E. D. S.; FERREIRA, I. V. L.; BARBOZA, M. G. Desinfecção de águas cinzas e negras visando o reúso. In: XII SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2014, Natal, RN. Anais Eletrônicos...
19. SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo —. Conservação e reúso da água em edificações. Prol Editora Gráfica: São Paulo, junho, 2005.
20. TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar Editora, 2010.
21. WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol. 2. Wastewater use in agriculture. Geneva, 2006. 222p.
22. WHO. Guidelines for Drinking-water Quality: incorporating 1st and 2nd addenda. v. 1, 3 ed. Geneva, 2008. 668p.
23. WHO. Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management. Geneva, 2016. 204p.
24. ZANETI, R. N.; ETCHEPARE, R. G.; OLIVEIRA, R. G. M. M.; RUBIO, J. Riscos químicos, microbiológicos e pré-avaliação econômica no reúso de água. Estudo de caso: Lavagem de veículos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26º Anais. Porto Alegre/RS. 2011. p. 5