

Reúso de efluentes domésticos tratados e riscos microbiológicos associados

Reuse of treated domestic wastewater and associated microbiological risks

DOI:10.34117/bjdv7n9-305

Recebimento dos originais: 20/08/2021

Aceitação para publicação: 20/09/2021

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. Professora Titular do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Endereço: Universidade Federal de Alagoas/UFAL, Centro de Tecnologia/CTEC. Av. Lourival Melo Mota, S/N. Tabuleiro do Martins. Maceió – AL. CEP 57072-900.
E-mail: ilopes@ctec.ufal.br

Layane Vitória de Oliveira Silva

Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas. Bolsista de Iniciação Científica.

Endereço: Universidade Federal de Alagoas/UFAL, Centro de Tecnologia/CTEC. Av. Lourival Melo Mota, S/N. Tabuleiro do Martins. Maceió – AL. CEP 57072-900.
E-mail: layanevitoria005@gmail.com

Emanuelle Santos Barros

Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas. Colaboradora em projeto de Iniciação Científica.

Endereço: Universidade Federal de Alagoas/UFAL, Centro de Tecnologia/CTEC. Av. Lourival Melo Mota, S/N. Tabuleiro do Martins. Maceió – AL. CEP 57072-900.
E-mail: emanuelle.barros@ctec.ufal.br

RESUMO

O reúso de água, para finalidades não potáveis é uma das alternativas apresentadas pelos especialistas para minimizar a escassez de água, entretanto, deve-se levar em consideração aspectos da saúde pública, em que os padrões de qualidade da água para reúso são de suma importância. A Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) é uma ferramenta muito útil para estabelecer padrões de qualidade de águas de reúso. Este trabalho teve como objetivo avaliar os riscos microbiológicos decorrentes do reúso de efluentes de uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), tratando esgoto doméstico. Foi utilizada a ferramenta (AQRM), relativa à *E. coli*, para estimar o risco quantitativo de infecção quando do reúso dos efluentes tratados, por finalidade de reúso, com base no conceito de risco aceitável da Organização Mundial da Saúde (OMS). Foram avaliados dados secundários de dois efluentes (1A e 1B), tratados em reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) seguido de Lagoas Facultativas em Série (1 e 2) e depois de Filtro de Areia. Além dessas etapas, o efluente 1B passou por processo de cloração (Sundefeld Junior, 2012). Os resultados indicaram que a AQRM demonstrou ser de grande importância para a avaliação do potencial de reúso de efluentes com diferentes

características. A etapa de desinfecção ampliou as possibilidades de reúso do efluente, devendo ser realizada, sempre que possível.

Palavras-Chave: AQRM, E, Coli, Contaminação, Esgoto Doméstico.

ABSTRACT

The reuse of water for non-potable purposes is one of the alternatives pointed out by experts to minimize water scarcity. However, aspects of public health must be taken into account, and water quality standards for reuse are of paramount importance. The Quantitative Microbial Risks Assessment (QMRA) is a very useful tool to establish reuse water quality standards. This work aimed to evaluate the microbial risks arising from the reuse of effluents from an ETE (Effluent Treatment Station), treating domestic sewage. The tool (QMRA), related to *E. coli*, was used to estimate the quantitative risk of infection when reusing treated effluents, in different activities, based on the concept of acceptable risk of the World Health Organization (WHO). Secondary data from two effluents (1A and 1B) treated in a UASB reactor (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) followed by Facultative Ponds in Series (1 and 2) and then by Sand Filter were evaluated. In addition to these steps, effluent 1B went through the chlorination process (Sundefeld Junior, 2012). The results indicated that the QMRA proved to be very importance for the evaluation of the potential reuse of effluents with different characteristics. The disinfection step expanded the possibilities of reusing the effluent, and should be carried out whenever possible.

Keywords: QMRA, *E. Coli*, Contamination, Domestic Sewage.

1 INTRODUÇÃO

No século XX, o consumo de água aumentou em seis vezes, devido ao crescimento populacional, industrial e da agricultura (Rijsberman, 2006), desde então a falta de manejo adequado e uso sustentável dos recursos hídricos contribuem para sua escassez no mundo.

O abastecimento urbano é o segundo maior uso da água no País, depois da agricultura, respondendo por 24,3% da água retirada nas bacias hidrográficas em 2019, e acarreta forte pressão sobre os sistemas produtores de água. O índice de cobertura das redes urbanas de abastecimento é de 92,9% da população das cidades, entretanto, as perdas são muito elevadas, e se aproximam de 40 % (ANA, 2020).

Diante da má gestão e negligência em relação à preservação da água, uma alternativa potencial e viável para conservar esse recurso natural é o uso de fontes alternativas e de estratégias de uso racional de água, uma forma de amenizar os problemas de disponibilidade de água potável e diminuir a sua demanda.

Dentre estas estratégias pode-se citar o reúso de efluentes domésticos tratados, tendo em vista que são produzidos de 100 - 160 litros de esgoto doméstico por pessoa,

diariamente (ABNT, 1993), uma ótima opção para minimizar o desperdício de água potável em fins não potáveis.

As modalidades de reúso envolvem uma grande variedade de aplicações não potáveis, dentre elas: irrigação de campos de esporte, parques, jardins, cemitérios, canteiros de rodovias; usos ornamentais e paisagísticos; descarga de toaletes, combate a incêndios; lavagem de veículos, limpeza de ruas; desobstrução de redes de esgotos e de drenagem pluvial; usos na construção dentre outros (Brega Filho; Mancuso, 2003).

Existem muitas diretrizes para reutilização dessas águas mesmo em atividades não potáveis, haja vista os riscos ambientais e à saúde humana devido à possibilidade de presença de metais pesados, compostos orgânicos, e, principalmente, microrganismos patogênicos relacionados à contaminação com fezes (Marques; Ide; Paulo, 2018).

A maioria dos patógenos encontrados em águas residuais não tratadas habitam o trato intestinal, onde podem causar doenças, e podem aparecer nas águas de reúso, tais como: vírus, bactérias, protozoários e helmintos (Metcalf & Eddy, 2003).

Charles Haas, em 1983, deu início à abordagem quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM) associados ao consumo de água potável, com base em modelos dose-resposta. Ele examinou modelos matemáticos que melhor estimassem a probabilidade de infecção a partir de bancos de dados existentes de experimentos de exposição humana a microrganismos patogênicos. Em seus estudos, descobriu que para vírus o modelo Beta-Poisson foi o que melhor descreveu a probabilidade para estimar o risco de infecção, doença clínica e mortalidade em níveis hipotéticos de vírus na água potável, calculando os riscos anuais e ao longo da vida (Haas; Eisenberg, 2001). Outros estudos se sucederam e assim a AQRM tornou-se um dos métodos imprescindíveis para identificar os riscos de infecção que devem ser considerados ao se propor normas e regulamentos que estabeleçam valores máximos permitidos (VMP) para os diferentes microrganismos presentes em água potável e em águas de reúso para fins não potáveis.

Esse trabalho teve como objetivos: utilizar a ferramenta AQRM relativa à *E. coli*, para estimar o risco quantitativo de infecção quando do reúso dos efluentes tratados, por finalidade de reúso; indicar os Valores Máximos Permitidos de *E. coli* nos efluentes em função da finalidade de reúso e com base no conceito da OMS de risco aceitável para doenças diarreicas (10^{-3} pppa); e avaliar a necessidade de tratamento adicional dos efluentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Base de Dados

O trabalho realizado por Sundefeld Júnior (2012) sobre pós-tratamento de efluentes de reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) e de lagoas de estabilização, tratando esgotos domésticos, na cidade de Piracicaba, SP, foi utilizado como base de dados. O pós tratamento foi realizado em escala piloto e consistiu de filtro de areia (efluente 1A), e filtro de areia seguido de cloração (efluente 1B). Na Tabela 1 são apresentadas as concentrações de *E. coli* no efluente final para as duas configurações de tratamento, utilizadas na AQRM.

Tabela 1: Médias geométricas das concentrações de *E. coli* no efluente final.

Efluentes	Configuração do Tratamento de Efluentes	N	<i>E. coli</i> NMP/100 mL
1A	Lagoa Anaeróbia + Lagoas Facultativas em série (1 e 2) + Filtro de Areia	24	$1,43 \times 10^4$
1B	Lagoa Anaeróbia + Lagoas Facultativas em série (1 e 2) + Filtro de Areia + Desinfecção com cloro	24	$1,83 \times 10^1$

N: número de amostras; NMP: número mais provável Fonte: Sundefeld Júnior (2012)

Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM)

A metodologia utilizada envolve as quatro etapas fundamentais da AQRM (identificação do perigo, avaliação da exposição, análise dose-resposta e caracterização do risco) em que são determinados numericamente os riscos de infecção, por finalidade de reúso.

A identificação do perigo consiste na escolha do microrganismo alvo do estudo, neste caso, *E. coli*. Leva-se em consideração a sua natureza e consequências ao hospedeiro a partir da infecção, avaliando sua concentração em efluentes.

Na avaliação de exposição estimou-se a quantidade de patógenos ingerida em uma determinada atividade fim (irrigação de jardins, irrigação de áreas públicas, lavagem de pisos, lavagem de veículos, dentre outras). O valor da exposição foi estimado a partir do volume médio ingerido durante a atividade fim por aerossol, exposição rotineira, ingestão acidental e ingestão de alimentos cultivados com água de reúso, considerando as rotas e frequências de exposição (Tabela 2).

Tabela 2: Distribuição da exposição relacionada à água de reúso.

Atividade	Rota de exposição	Volume (mL) [mín.; méd.; máx.]	Frequência (anual) [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)
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 veículo	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)

Fonte: Ashbolt *et al.* (2005); Zanetti *et al.* (2011)^(a); Tomaz (2003)^(b); Pasin (2013)^(c).

De posse dos valores de volume ingerido de efluentes, considerando as rotas de exposição para cada atividade-fim e a concentração de microrganismos presentes nos efluentes (1A e 1B), expressas em Número Mais Provável por mL, calculou-se a dose (Eq. 1):

$$\text{Dose} = \text{E. coli no efluente} \left(\frac{\text{NMP}}{\text{mL}} \right) \times \text{Volume ingerido (mL)} \quad (1)$$

A análise dose-resposta relaciona uma determinada dose do agente microbiológico decorrente de uma única exposição com o risco de uma resposta adversa infecciosa no indivíduo. Para este fim são utilizados os modelos de análise dose-resposta, que são funções matemáticas que utilizam como argumento uma medida de dose para fornecer 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 Beta-Poisson, (Haas; Einsenberg, 2001) (Eq. 2), que, após simplificado, resulta na Eq. 4 (DuPont *et al.*, 1971).

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

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

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

P_i: probabilidade de infecção para uma única exposição; d: dose ou número de patógenos ingeridos (Eq. 1); N₅₀: dose infectante média (Eq. 3); α e β: parâmetros dose-resposta característicos da interação agente-hospedeiro, obtidos por meio de observações e experimentações, 1,55x10⁻¹ e de 2,44x10⁴, respectivamente.

Para a caracterização de risco determinou-se o risco para múltiplas exposições durante o período de um ano (Eq. 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 (Eq. 4); n : número ou frequência de exposições no ano (Tabela 2).

Avaliação da Viabilidade de Reúso

A avaliação do reúso imediato foi realizada comparando-se o risco anual calculado (P_n) com as diretrizes estabelecidas pela OMS, que considera o risco aceitável de 10^{-3} pppa para doenças diarreicas (WHO, 2016), ou seja, uma pessoas infectada a cada 1000 expostas no período de um ano.

Cálculo dos Valores Máximos Permitidos (VMPs)

Foi realizado de forma inversa, partindo dos riscos estabelecidos pela OMS $P_n = 10^{-3}$ (pppa) a fim de obter uma faixa de VMP de *E. coli* que forneça riscos aceitáveis para o usuário. Em seguida, foi determinada a eficiência de pós tratamento dos efluentes (caso necessário) nos cenários de exposição que ultrapassem os VMPs calculados com base nos parâmetros da OMS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos

Na Tabela 3 consta a caracterização do risco anual de infecção associado ao reúso dos efluentes 1A e 1B, para diferentes modalidades de reúso não potável, considerando as concentrações de *E. coli* de $1,43 \times 10^4$ NMP/100 mL e $1,83 \times 10^1$ NMP/100 mL, respectivamente.

Tabela 3: Risco anual de infecção por *E. coli* para diferentes atividades-fim.

Atividade-fim	Rota de exposição	Volume ingerido (mL)	Frequência de exposição anual (n)	Risco anual de infecção (P_n) (pppa)		Valor de referência OMS (pppa)
				1A	1B	
Irrigação de Jardim	Aerossol	0,01	150	1,36E-03	1,74E-06	1E-3
		0,1		1,35E-02	1,74E-05	
		0,5		6,58E-02	8,72E-05	
	Ingestão rotineira	0,1	150	1,35E-02	1,74E-05	
		1		1,27E-01	1,74E-04	
		2		2,37E-01	3,49E-04	
			10	1	8,79E-03	

	Ingestão acidental	100		6,90E-02	1,16E-04
		200		1,13E-01	2,32E-04
Irrigação de áreas públicas	Ingestão (exposição rotineira)	0,1	60	5,43E-03	6,97E-06
		1		5,29E-02	6,97E-05
		10		4,11E-01	6,97E-04
Irrigação de culturas alimentares	Ingestão de alimentos cultivados	1	150	1,27E-01	1,74E-04
		5		4,89E-01	8,71E-04
		20		9,24E-01	3,48E-03
Vaso sanitário	Aerossol	0,01	1460	1,32E-02	1,70E-05
		0,1		1,24E-01	1,70E-04
		0,5		4,84E-01	8,48E-04
Máquina de lavar roupas	Aerossol	0,01	150	1,36E-03	1,74E-06
		0,1		1,35E-02	1,74E-05
		0,5		6,58E-02	8,72E-05
Balneabilidade	Ingestão	10	40	2,98E-01	4,65E-04
		25		5,72E-01	1,16E-03
		100		9,43E-01	4,64E-03
Lavagem de veículos	Aerossol	0,01	48	4,36E-04	5,58E-07
		0,1		4,35E-03	5,58E-06
		0,5		2,15E-02	2,79E-05
	Ingestão (exposição rotineira)	0,1	48	4,35E-03	5,58E-06
		1		4,25E-02	5,58E-05
		2		8,30E-02	1,12E-04
Lavagem de pisos	Aerossol	0,01	11,06	1,00E-04	1,29E-07
		0,1		1,00E-03	1,29E-06
		0,5		5,00E-03	6,43E-06
	Ingestão (exposição rotineira)	0,1	11,06	1,00E-03	1,29E-06
		1		9,97E-03	1,29E-05
		2		1,98E-02	2,57E-05

pppa: por pessoa por ano Fonte: Autoras (2021)

Após aplicação da AQRM, os resultados indicaram que, para o efluente 1A, cuja concentração de *E. coli* foi de $1,43 \times 10^4$ NMP/100 mL, o risco calculado de infecção anual (P_n) considerando as rotas de exposição, volumes ingeridos e frequência de exposição no período de um ano, para os diversos usos não potáveis foram, na grande maioria, acima do risco considerado aceitável/tolerável pela OMS (10^{-3} pppa). As únicas atividades de reúso consideradas seguras foram lavagem de veículos e lavagem de pisos, em situações específicas. No primeiro caso (lavagem de veículos), quando a rota de exposição são aerossóis e o volume máximo ingerido de 0,01 mL, o risco de infecção é de $4,36 \times 10^{-4}$ pppa, ou seja, 0,436 pessoa infectada a cada 1000 pessoas expostas no período de um ano. No segundo caso (lavagem de pisos), os riscos são de 10^{-4} pppa e 10^{-3} pppa quando a rota de exposição é por aerossóis e os volumes ingeridos são de 0,01 e 0,1 mL, respectivamente. Quando a rota de exposição é a ingestão por exposição rotineira de 0,1 mL, o risco de infecção também é de 10^{-3} pppa. Ainda considerando o reúso do efluente 1A, a atividade que envolve maiores riscos é a balneabilidade, variando de 298 a 943 pessoas infectadas a cada 1000 expostas no período de um ano, quando os volumes

ingeridos são de 10 a 100 mL, respectivamente, e, portanto, acima do aceitável pela OMS. Também merecem destaque os riscos envolvidos no consumo de alimentos irrigados com o efluente 1A, chegando a 924 pessoas infectadas a cada 1000 expostas por ano. Vale ressaltar que, no caso do reúso para irrigação de culturas alimentares, a lavagem dos alimentos com água potável antes do consumo pode diminuir sobremaneira a concentração de microrganismos, funcionando como uma importante barreira para infecção em que é possível uma redução de 1 log a 2 logs na dose ingerida (NAVARRO et al., 2008).

Quanto ao efluente 1B, cuja concentração de *E. coli* é de $1,83 \times 10^1$ NMP/100 mL, existe um grande potencial de reúso. As únicas atividades-fim que apresentaram restrições foram irrigação de culturas alimentares, quando o volume ingerido é de 20 mL (risco de 3,48 pessoas infectadas a cada 1000 expostas/ano), e balneabilidade, quando os volumes ingeridos são de 25 e 100 mL (risco de 1,16 e 4,64 pessoas infectadas a cada 1000 expostas/ano, respectivamente), ultrapassando o valor de referência da OMS (0,001 pppa). Fica clara a importância da desinfecção como mais uma barreira sanitária para o reúso de efluentes com segurança.

Valores Máximos Permitidos (VMPs) e necessidade de tratamento adicional

A AQRM, além de ser uma ferramenta importante para estabelecer quantitativamente os riscos associados ao reúso de efluentes, também pode ser utilizada de forma indireta ou inversa, partindo de uma concentração de patógenos considerada segura, ou seja, baseada no risco considerado seguro (Paulo et al., 2019). Assim, os Valores Máximos Permitidos (VMPs) presentes na legislação e diretrizes técnicas sobre reúso podem ser determinados com base no risco aceitável, por exemplo, o da OMS que é de 10^{-3} pppa.

Na Tabela 4 são indicados os VMPs de *E. coli*, considerando as recomendações da OMS e a necessidade ou não de tratamento adicional.

Tabela 4: Valores máximos permitidos (VMPs) de *E. coli* e necessidade de tratamento adicional.

Atividades-fim	Rota de exposição	Volume (mL)	n	Pi'	d'	VMP (<i>E.coli</i> /100 mL)	Tratamento adicional (S/N; Eficiência %)			
							1A	1B		
Irrigação de Jardim	Aerossol	0,01	150	6,67E-06	1,05E+00	1,05E+04	S	26,57	N	-
		0,1		6,67E-06	1,05E+00	1,05E+03	S	92,66	N	-
		0,5		6,67E-06	1,05E+00	2,10E+02	S	98,53	N	-
	0,1	6,67E-06		1,05E+00	1,05E+03	S	92,66	N	-	

	Ingestão rotineira	1	1	6,67E-06	1,05E+00	1,05E+02	S	99,27	N	-
		2		6,67E-06	1,05E+00	5,25E+01	S	99,63	N	-
	Ingestão acidental	10		1,00E-03	1,58E+02	1,58E+03	S	88,95	N	-
		200		1,00E-03	1,58E+02	7,90E+01	S	99,45	N	-
Irrigação de áreas públicas	Ingestão (exposição rotineira)	0,1	60	1,67E-05	2,63E+00	2,63E+03	S	81,64	N	-
		1		1,67E-05	2,63E+00	2,63E+02	S	98,16	N	-
		10		1,67E-05	2,63E+00	2,63E+01	S	99,82	N	-
Irrigação de culturas alimentares	Ingestão de alimentos cultivados	1	150	6,67E-06	1,05E+00	1,05E+02	S	99,27	N	-
		5		6,67E-06	1,05E+00	2,10E+01	S	99,85	N	-
		20		6,67E-06	1,05E+00	5,25E+00	S	99,96	S	71,31
Vaso sanitário	Aerossol	0,01	1460	6,85E-07	1,08E-01	1,08E+03	S	92,46	N	-
		0,1		6,85E-07	1,08E-01	1,08E+02	S	99,25	N	-
		0,5		6,85E-07	1,08E-01	2,16E+01	S	99,85	N	-
Máquina de lavar roupas	Aerossol	0,01	150	6,67E-06	1,05E+00	1,05E+04	S	26,57	N	-
		0,1		6,67E-06	1,05E+00	1,05E+03	S	92,66	N	-
		0,5		6,67E-06	1,05E+00	2,10E+02	S	98,53	N	-
Balneabilidade	Ingestão	10	40	2,50E-05	3,94E+00	3,94E+01	S	99,72	N	-
		25		2,50E-05	3,94E+00	1,58E+01	S	99,89	S	13,93
		100		2,50E-05	3,94E+00	3,94E+00	S	99,97	S	78,48
Lavagem de veículo	Aerossol	0,01	48	2,08E-05	3,38E+00	3,38E+04	N	-	N	-
		0,1		2,08E-05	3,38E+00	3,38E+03	S	76,35	N	-
		0,5		2,08E-05	3,38E+00	6,76E+02	S	95,27	N	-
	Ingestão (exposição rotineira)	0,1		2,08E-05	3,38E+00	3,38E+03	S	76,35	N	-
		1		2,08E-05	3,38E+00	3,38E+02	S	97,64	N	-
		2		2,08E-05	3,38E+00	1,69E+02	S	98,82	N	-
Lavagem de pisos	Aerossol	0,01	11,06	9,05E-05	1,42E+01	1,42E+05	N	-	N	-
		0,1		9,05E-05	1,42E+01	1,42E+04	S	0,39	N	-
		0,5		9,05E-05	1,42E+01	2,85E+03	S	80,08	N	-
	Ingestão (exposição rotineira)	0,1		9,05E-05	1,42E+01	1,42E+04	S	0,39	N	-
		1		9,05E-05	1,42E+01	1,42E+03	S	90,04	N	-
		2		9,05E-05	1,42E+01	7,12E+02	S	95,02	N	-

n: Frequência anual de exposição; Pi': risco de infecção para exposição única; d': dose ingerida; S: Sim; N: Não Fonte: Autoras (2021)

Os resultados indicaram a necessidade de pós-tratamento do efluente 1A, com eficiências que variam de 0,39% a 99,97%, para que o efluente seja usado com segurança. Neste caso, para garantir a qualidade desejada, recomenda-se adicionar uma etapa de desinfecção para ampliar as modalidades de reúso.

Os mecanismos de desinfecção com cloro ocorrem, principalmente, pela oxidação do material celular, mas há relatos na literatura da inibição enzimática e danificação do material genético dos microrganismos (Ferreira Filho, 2017).

Quanto ao efluente 1B, que passou por desinfecção com cloro, não há necessidade de tratamento adicional para a maior parte das atividades propostas. O pós-tratamento só é recomendado quando do reúso do efluente (1B) para irrigação de culturas ingeridas cruas, para a situação específica de ingestão de 20 mL de efluente, e para a atividade de balneabilidade para volumes ingeridos a partir de 25 mL. Neste caso, pode-se melhorar a eficiência de desinfecção aumentando-se a dosagem de desinfetante e/ou aumentando o tempo de contato.

Os processos de desinfecção sofrem influência das características físico-químicas do efluente a ser desinfetado, como presença de compostos redutores à base de enxofre, de nitrogênio amoniacal, bem como de sólidos suspensos que diminuem a eficiência da cloração (Aisse et al., 2003).

4 CONCLUSÕES

A AQRM demonstrou ser de grande importância para a avaliação do potencial de reúso de efluentes com diferentes concentrações de microrganismos.

Os resultados da AQRM indicaram que nenhum dos efluentes avaliados está apto para o reúso imediato em todos os usos não potáveis propostos.

Para o efluente 1A, que não passou por etapa de cloração, as possibilidades de reúso são limitadas, sendo recomendada a desinfecção, na maioria dos casos, com eficiências acima de 90%.

A etapa de desinfecção ampliou sobremaneira as possibilidades de reúso do efluente 1B, pois consiste em mais uma barreira sanitária, devendo ser realizada sempre que possível.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal de Alagoas (PIBIC/UFAL/FAPEAL/CNPq), pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto, construção e operação de sistema de tanques sépticos – NBR 7229. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.
AISSE, M. M.; CAROUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; JÜRGENSEN, D.; LAPILLI, F. R.; MELO, H. N. S.; PIVELI, R. P.; LUCCA, S. J. Cloração e Descloração. In: Desinfecção de efluentes sanitários /Ricardo Franci Gonçalves (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 438 p.

ANA. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2020. Capítulo 3. Usos da água. Disponível em <<http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/Capitulo3.696721ba.pdf> > Acesso em 19.01.2021.

ASHBOLT, N.; PETTERSON, S. R.; STENSTRON, THOR-AXEL; SCHONNING, C.; WESTRELL, T.; OTTOSON, J. Microbial risk assessment (MRA) Tool. Urban Water Chalmers University of Technology. Sweden. 2005. p.23-24.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso da água. In: Reúso de água. Cap. 2. Pedro Caetano Sanches Mancuso e Hilton Felício dos Santos (Editores). 2003.

DuPONT, H. L.; FORMAL, S.B.; HORNICK, R. B.; SNYDER, M. J.; LIBONAT, J. P.; SHEAHAN, D. G.; LABREC, E. H.; KALAS, J. P. Pathogenesis of Escherichia coli Diarrhea. New England Journal of Medicine, 1971; 285:1-9 July 1, 1971 DOI: 10.1056/NEJM197107012850101.

FERREIRA FILHO, S. S. Tratamento de Água: Concepção, projeto e operação de estações de tratamento. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

HAAS, C. N.; EINSENBERG, J. N. S. Risk assessment. In: FEWTRELL, 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.

MARQUES, F. R.; IDE, W. R.; PAULO, P. L. Pathogens in greywater: Review. Revista de Ingeniería e Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo e Practica. v.11, n.2, p.167-181. 2018.

METCALF & EDDY, Inc. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4 ed. Nova York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2003

NAVARRO, I.; JIMÉNEZ, B.; CIFUENTES, E.; LUCARIO, S. A quantitative microbial risk assessment of helminth ova in reusing sludge for agricultural production in developing countries. WIT Transactions on Information and Communication, v. 39, p. 65-74. 2008.

PASIN, D. B. Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) Associados à *E. coli* em águas cinza. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2013.

PAULO, P. L.; KIPERSTOK, A.; SOUZA, H. H. S.; MORAIS, J. C.; OLIVEIRA, L. O. V.; QUEIROZ, L. M.; NOLASCO, M. A.; MAGRI, M. E.; LOPES, T. A. S. Ferramentas de avaliação de sustentabilidade em sistemas de tratamento de esgotos descentralizados. In: Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza: Gráfica e Editora Imprece, 2019. p.746-812.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: Fact or fiction? *Agricultural Water Management*. v.80, n.1-3, p.5-22. Feb/2006.

SUNDEFELD JUNIOR, G. C. Pós-Tratamento e desinfecção de efluentes de reatores UASB e de Lagoas de Estabilização visando ao reúso. 208f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2012.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

WHO. Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management. Geneva, 2016. 204p.

ZANETTI, 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. ANAIS do 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre/RS. 2011.