



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

DÉBORA BRUNHEROTO PASIN

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS
(AQRM) ASSOCIADOS À *E. coli* EM ÁGUAS CINZA**



Bauru
2013

DÉBORA BRUNHEROTO PASIN

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS
(AQRM) ASSOCIADOS À *E. coli* EM ÁGUAS CINZA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Bauru
2013

Pasin, Débora Brunheroto.

Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) associados à *E. coli* em águas cinza / Débora Brunheroto Pasin, 2013
68 f.


Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2013

1. Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos. 2. Águas cinza. 3. *E. coli*. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE DÉBORA BRUNHEROTO PASIN, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Ao 01 dia do mês de agosto do ano de 2013, às 14:30 horas, no(a) ANFITEATRO DO DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO TERRITORIAL E GEOPROCESSAMENTO, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. RODRIGO BRAGA MORUZZI do(a) Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento / Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro - UNESP, Prof. Dr. MARCELO DE JULIO do(a) Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental / Divisão de Engenharia Civil - ITA, Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de DÉBORA BRUNHEROTO PASIN, intitulada "AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS (AQRM) ASSOCIADOS A E. COLI EM ÁGUAS CINZA". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. RODRIGO BRAGA MORUZZI


Prof. Dr. MARCELO DE JULIO


Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA

*Aos meus pais Domingos
Pedro e Roseli Maria.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me proporcionou a vida e as pessoas que nela tenho.

Agradeço a toda minha família que sempre me apoiou para que eu pudesse concluir o curso e acreditaram na minha capacidade de aprendizado. Em especial, a minha mãe Roseli Maria, um exemplo de vida e superação. E, meu pai Domingos Pedro, brasileiro digno e acima de tudo, um grande lutador pelo sucesso profissional de seus filhos.

Aos meus avós, que rezaram incessantemente a Deus pela proteção e sabedoria.

Ao meu namorado Widismar pelo carinho e conforto em todos os momentos.

Aos professores que foram responsáveis pela minha formação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi que me aceitou e depositou confiança no meu trabalho, dando-me orientações de como prosseguir e solucionar os problemas encontrados.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

E, aos amigos do curso de Pós- graduação em Engenharia Civil e Ambiental e a todos que me apoiaram nos momentos de dificuldades.

Resumo

O reúso de águas cinza apresenta-se como uma alternativa de ampliação da oferta de água que pode contribuir para a conservação dos recursos hídricos, perante a escassez da água, não apenas pela qualidade, mas também pela quantidade. Os riscos associados à exposição rotineira ou acidental dessa fonte alternativa devem, entretanto, ser considerados, para que se possam estabelecer práticas seguras de reúso, uma vez que as águas de reúso podem apresentar patógenos, tais como: vírus, bactérias, protozoários e helmintos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar quantitativamente os riscos microbiológicos das diversas fontes de exposições dos usuários a *E. coli* na água cinza sem tratamento, a fim de definir uma faixa de Valores Máximos Permitidos (VMP) por meio do conceito de riscos aceitáveis 10^{-3} e 10^{-6} pppa (por pessoa por ano), para as diversas finalidades de reúso. Para tal, foram avaliadas a exposição, a dose-resposta e a probabilidade de infecção para diferentes finalidades de reúso. O modelo de beta-Poisson foi empregado para avaliação da probabilidade de infecção. A dose infectante (N_{50}), a concentração de microrganismos, a rota de exposição, os volumes ingeridos (acidentalmente e rotineiramente), os parâmetros de interação agente-hospedeiro (α e β), bem como a frequência de exposição foram avaliados a partir de uma compilação sistemática de dados da literatura. E, por meio da Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM), o maior risco de infecção identificado decorreu do reúso de águas cinza misturadas para a finalidade de balneabilidade e irrigação de culturas alimentares por meio de ingestão de alimentos, incorrendo em risco de aproximadamente 9,9 pessoas a cada dez indivíduos expostos, sem considerar os efeitos de diluição da água. Esse cenário, resultou em VMP de 5,25 a 105 NMP/100 mL e 3,95 a 39,5 NMP/100 mL, respectivamente, para risco de aceitável de 10^{-3} pppa e 0,00 a 0,10 NMP/100 mL e 0,00 a 0,04 NMP/100 mL, simultaneamente, para risco de 10^{-6} pppa. Já o menor risco de infecção decorreu do reúso de águas cinza de lavatório para lavagem de pisos, proporcionando VMP de $21,4 \times 10^1$ a $2,14 \times 10^3$ NMP/100 mL para risco de aceitável de 10^{-3} e 0,71 a 14,3 NMP/100 mL, para risco de 10^{-6} pppa. A AQRM com riscos aceitáveis de 10^{-3} pppa mostra-se uma potencial ferramenta para avaliação dos VMP em água cinza bruta, visando reutilização e pode subsidiar decisões normativas nacionais.

Palavras-chave: Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM); Águas cinza; *E. coli*; VMP.

Abstract

The reuse of greywater is presented as an alternative to increasing the supply of water that can contribute to the conservation of water resources against water scarcity, not only the quality but also the quantity. The risks associated with exposure routine or accidental this alternative source should, however, be considered, so that they can establish safe practices of reuse, since reusing water may have pathogens, such as viruses, bacteria, protozoa and helminths. The present study aimed to quantitatively evaluate the microbiological risks of different sources of exposure of users to *E. coli* in untreated gray water, in order to define a range of Maximum Values Allowed (MVA) through the concept of acceptable risk 10^{-3} and 10^{-6} pppy (per person per year), for the various purposes of reuse. To this end, we evaluated the exposure, the dose -response and the probability of infection for different purposes reuse. The beta -Poisson model was used to assess the likelihood of infection. The infective dose (N_{50}), the concentration of microorganisms, the route of exposure, the volumes ingested (accidentally and routinely), the parameters of agent-host interaction (α and β), and the frequency of exposure were evaluated from one systematic compilation of literature. And, through Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA), the greatest risk of infection identified resulted from the reuse of greywater mixed for the purpose of bathing and irrigation of food crops through food intake, resulting in risk of approximately 9.9 out of ten people exposed individuals, without considering the effects of dilution water. This situation has resulted in MVA 5.25 to 105 MPN/100mL and 3.95 to 39.5 MPN/100mL, respectively, to an acceptable risk of 10^{-3} pppy and 0.00 to 0.10 MPN/100mL and 0.00 to 0.04 MPN/100mL simultaneously to risk of 10^{-6} pppy. The lowest risk of infection was due to the reuse of greywater basin for washing floors, providing MVA 21.4×10^1 to 2.14×10^3 MPN/100mL for acceptable risk of 10^{-3} and 0.71 to 14.3 MPN/100mL for risk of 10^{-6} pppy. The QMRA with acceptable risk of 10^{-3} pppy shown a potential tool for assessment of MVA in water crude ash, aiming reuse and can support national policy decision

Key words: Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA); Greywater; *E. coli*; MVA.

Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama de processo metodológico empregado neste trabalho.	28
Figura 2 - Probabilidade de infecção normalizada para N_{50} de 10^{+6} para <i>E. coli</i> em função da dose-resposta para distribuição de beta-Poisson para exposição única (P) e para diferentes valores de frequência de exposição anual (n). Cálculos efetuados para N_{50} de 10^{+6} , α de $1,55 \times 10^{-1}$ e β de $2,44 \times 10^{+4}$	33

Índice de Tabelas

Tabela 1: Microrganismos comumente encontrados em água de reúso no Brasil e suas causas ou sintomas.	10
Tabela 2: Valores de <i>E. coli</i> presentes em águas cinza brutas em recentes trabalhos brasileiros, por ordem cronológica.	12
Tabela 3: Resumo dos modelos de resposta à dose para <i>E. coli</i>	16
Tabela 4: Distribuição da exposição associada ao uso de água reciclada no meio urbano.	18
Tabela 5: Padrões de qualidade microbiológica para reúso de água em legislações internacionais.....	20
Tabela 6: Legislações brasileiras acerca de reúso	22
Tabela 7: Padrões de qualidade microbiológica requeridos para reúso em norma e manual brasileiro	23
Tabela 8: Concentração de <i>E. coli</i> (NMP/100mL) em águas cinza brutas.....	30
Tabela 9: Distribuição da exposição relacionada à água de reúso	31
Tabela 10: Risco anual de infecção por <i>E. coli</i> na irrigação de jardim com águas cinza sem tratamento	35
Tabela 11: Risco anual de infecção por <i>E. coli</i> com água de reúso sem tratamento na irrigação de áreas públicas.....	36
Tabela 12: Risco anual de infecção por <i>E. coli</i> com água de reúso sem tratamento na aplicação de culturas alimentares	36
Tabela 13: Risco anual de infecção por <i>E. coli</i> com água de reúso sem tratamento no banheiro (vasos sanitários)	37
Tabela 14: Risco anual de infecção por <i>E. coli</i> com água de reúso sem tratamento na máquina de lavar roupas	38
Tabela 15: Risco anual de infecção por <i>E. coli</i> com águas de reúso sem tratamento para balneabilidade.....	38
Tabela 16: Risco anual de infecção por <i>E. coli</i> com água de reúso sem tratamento na lavagem de pisos.....	39
Tabela 17: Risco anual de infecção por <i>E. coli</i> com água de reúso sem tratamento na lavagem de carro.....	39
Tabela 18: Riscos altos e baixos de infecção anual ao usuário por <i>E. coli</i> decorrentes da fonte de reúso, rota de exposição e volume ingerido para cada finalidade de reúso... ..	40
Tabela 19: VMP de <i>E. coli</i> em águas cinza associado à finalidade do reúso	42

Tabela 20: Comparação dos VMP de <i>E. coli</i> obtidas neste trabalho com os da NBR 13.969/1997 e o Manual de “Conservação e reúso de água em edificações”	44
---	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AM – Água misturada

AQRM – Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos

β – Parâmetro característico de interação agente-hospedeiro

CETESB – Cia. Ambiental do Estado de São Paulo

CT – Coliformes Termotolerantes

d – Número de microrganismo ingerido por exposição (dose)

DAEC – *Escherichia coli* com aderência difusa

DI – Dose Infectante mediana

DL – Dose letal mediana

DNA – Ácido desoxirribonucléico

EAEC - *Escherichia coli* enteroagregativa

E. coli - *Escherichia coli*

EHEC - *Escherichia coli* enterohemorrágica

EIEC - *Escherichia coli* enteroinvasiva

EPA – *Environmental Protection Agency*

EPEC - *Escherichia coli* enteropatogênica

ETE – Estação de tratamento de esgoto

ETEC - *Escherichia coli* enterotoxigênica

EUA – Estados Unidos da América

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FBAS – Filtro Biológico Aeróbio Submerso

FT – Filtro terciário

IER – Ingestão por exposição rotineira

IAC – Ingestão de Alimentos Cultivos

IA – Ingestão Acidental

k – Parâmetro característico de interação agente-hospedeiro

L – Litros

LA - Lavatório

LAB – Lodo ativado por batelada

mL – Mililitros

N₅₀ – Dose infectante média

NMP – Número mais provável

NBR – Norma Brasileira

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

P(-) ou P_i – Probabilidade de risco de infecção para uma única exposição

$P_n(-)$ ou P_n – Probabilidade de risco de infecção para múltiplas exposições

pppa – Por pessoa por ano

RAC – Reator anaeróbio compartimentado

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USEPA – United States Environmental Protection Agency

VMP – Valor Máximo Permitido

WHO – World Health Organization

Sumário

Resumo	I
Abstract	II
Índice de Figuras	III
Índice de Tabelas	IV
Sumário	VIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO GERAL	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 A escassez e a poluição das águas	5
3.2 Reúso de Água: conceito e aplicação	7
3.3 Riscos do reúso	9
3.3.1 <i>Microrganismos presentes em águas cinza no Brasil</i>	9
3.3.2 <i>Escherichia coli</i>	10
3.3.2.1 Caracterização	10
3.3.2.2 Concentração de <i>E. coli</i> em águas cinza.....	12
3.3.2.3 Dados epidemiológicos e modelos dose-resposta	14
3.4 Formas de exposições associadas aos diferentes usos de águas cinza	17
3.5 Riscos aceitáveis e risco zero	19
3.6 Normas e diretrizes nacionais e internacionais para reúso de água.....	20
3.7 Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico	24
4 METODOLOGIA.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Avaliação de risco microbiológico para <i>E. coli</i> por fonte e finalidade de reúso.....	33
5.2 Valores Máximos Permitidos de reúso de água para fins não-potáveis	41
5.3 Comparação dos Valores máximos Permitidos obtidos neste trabalho com os de legislações nacionais.....	43

6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	45
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

O reúso de águas cinza apresenta-se como uma alternativa de ampliação da oferta de água que pode contribuir para a conservação dos recursos hídricos, perante a escassez da água, não apenas pela qualidade, mas também pela quantidade. Os riscos associados à exposição rotineira ou acidental dessa fonte alternativa devem, entretanto, ser considerados, para que se possam estabelecer práticas seguras de reúso. Pois, as águas de reúso podem apresentar patógenos, tais como: vírus, bactérias, protozoários e helmintos (MAY, 2009).

A *Escherichia coli*, por exemplo, é uma bactéria bastante encontrada em águas cinza e faz parte do grupo dos coliformes termotolerantes ou fecais. Ela é comumente considerada como indicadora de contaminação fecal (BERNARDO, 2007). Todavia, indica a possibilidade de ter patógenos intestinais, como *Salmonella* ou vírus entéricos, nas águas cinza (BAZZARELLA, 2005). Pois estes microrganismos podem espalhar-se com as fezes (SCORTGAGNA, 2011).

A *E. coli* vive na microbiota intestinal humana de forma harmoniosa com o hospedeiro quando saudável. No entanto, em indivíduos debilitados, imunossuprimidos, ou quando a barreira gastrointestinal é violada, até mesmo as bactérias comensais de *E. coli* podem causar peritonites (PINTO *et al.*, 2011). Ademais, podem provocar diarreia, desidratação, infecções urinárias, mastites, septicemias, meningites e até morte em crianças de países em desenvolvimento (VON SYDOW *et al.*, 2006).

Em água residuária, apresenta-se em média de $10^5 - 10^8$ NMP/100 mL de água (VON SPERLING *et al.*, 2005). E, a dose infectante (N_{50}), capaz de provocar sintomas clínicos em 50% dos indivíduos em contato com água contaminada é de $10^6 - 10^{10}$ *E. coli* (FEACHEM *et al.*, 1983).

Esses microrganismos são introduzidos nas águas cinza por meio do banho e da lavagem das mãos, de alimentos e de roupas fecalmente contaminados (OTTOSSON e STRENSTRÖM, 2003; GONÇALVES *et al.*, 2006; MAY, 2009). Ao se reutilizarem essas águas, existem riscos diferenciados de contaminação, os quais podem ocorrer por meio de

aerossóis, por meio da pele e mucosas ou por meio da ingestão acidental decorrente, na maioria dos casos, de conexão cruzada entre água potável e água de reúso (BLUM, 2003).

Entretanto, não restam dúvidas que as águas cinza oferecem riscos aos usuários deste sistema. Para isso, a Avaliação Qualitativa de Risco Microbiológico (AQRM), torna-se ferramenta fundamental para estimar o risco de infecção e Valores Máximos Permitidos (VPM) de *E. coli* (coliformes fecais), para águas menos nobres, através das seguintes etapas: (1) caracterização do tipo de efeitos esperados à saúde (perigos); (2) estimativa da probabilidade (risco) da ocorrência destes efeitos, que está relacionada com o tipo e intensidade de exposição ao fator de risco; (3) estimativa do número de casos afetados pelos efeitos e; (4) proposta (quando possível) de concentração aceitável do constituinte que induz o risco do perigo acontecer (ASANO *et al.*, 2007; MONTE e ALBUQUERQUE, 2010).

A eliminação completa de todos os riscos de contaminação é o pressuposto fundamental do conceito de risco zero, o qual, caracterizado pela ausência de organismos indicadores ou patógenos na água de reúso, é criticado devido à sua fragilidade em termos de fundamentação epidemiológica (BLUMENTHAL *et al.*, 2000; CARR *et al.*, 2004). Além disso, tal abordagem requer tratamentos complexos e custosos, diminuindo a viabilidade econômica do reúso de águas menos nobres.

Até mesmo a água potável pode apresentar concentrações de microrganismos, por não ser esterilizada. Entretanto, a legislação brasileira, precaveu como mecanismos de ajustes, a coleta de novas amostras de água e de outros parâmetros, caso o parâmetro de coliformes da água potável apresente acima do estabelecido. Por outro lado, é necessário estabelecerem-se Valores Máximos Permitidos (VMP) para água de reúso que ofereçam riscos aceitáveis aos usuários, a fim de conciliar custo com eficácia e risco com benefício.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), conforme o documento *Guidelines for drinking-water quality: incorporating first and second addenda to third edition* (WHO, 2008), estabelece, para doenças diarreicas de veiculação hídrica, como é o caso de *E. coli*, um risco aceitável (ou tolerável, na terminologia da OMS) de 10^{-3} pppa (por pessoa por ano). Tal número indica como aceitável, por ano, a proporção de um indivíduo infectado a cada mil pessoas. Já para a água potável, a OMS estabelece um risco tolerável de 10^{-6} pppa, ou um indivíduo contaminado a cada milhão de pessoas por ano.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar quantitativamente os riscos microbiológicos das diversas fontes de exposições dos usuários a *E. coli* nas águas cinza, a fim de definir uma faixa de Valores Máximos Permitidos (VMP) por meio do conceito de

riscos aceitáveis 10^{-3} e 10^{-6} pppa, para as diversas finalidades de reúso, visando subsidiar discussões sobre referências normativas nacionais que tratam do reúso de águas cinza.

Posteriormente será realizada a revisão da literatura com o estudo da importância do reúso, concentração de microrganismos presentes em águas cinza e suas características epidemiológicas, maneiras de contaminação, normas e diretrizes nacionais e internacionais a cerca de reúso. Nas discussões, os riscos de infecção por *E. coli* serão apresentados e associados com VMP. E, para finalizar os VMP serão comparados com os estabelecidos por normas nacionais, propiciando apresentar um documento reflexivo a respeito do parâmetro de qualidade microbiológica para fins não potáveis, auxiliando para elaboração de normas, que garantam a saúde dos usuários.

2 OBJETIVO GERAL

2.1 Objetivo Geral

Avaliar quantitativamente os riscos microbiológicos de águas cinza, a fim associar risco com Valores Máximos Permitidos.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos contemplados pelo presente trabalho são:

- 1** – Determinar os riscos de infecção de *E. coli* por finalidade de reúso;
- 2** - Estabelecer valores máximos permitidos em função de um determinado risco;
- 3** - Selecionar o parâmetro microbiológico nas diferentes normas e diretrizes nacionais existentes e comparar com valor máximo permitido estabelecido para cada finalidade do reúso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A escassez e a poluição das águas

A escassez hídrica não se configura apenas pelo aspecto quantitativo, mas principalmente pelo qualitativo, com a poluição de possíveis fontes de abastecimento de água (SOUZA, 2008). O desenvolvimento desordenado das cidades, sem saneamento básico, tem propiciado os elevados índices de poluição dos recursos hídricos, provocando graves problemas de saúde pública, danos ambientais e elevando os custos do tratamento das águas para os usuários finais (SOUZA, 2008).

No Brasil, o déficit do setor de saneamento básico é elevado, sobretudo no que se refere ao esgotamento sanitário, onde 48,1% da população não possui rede de esgoto adequada, em áreas urbanas (SNIS, 2011). E, quando aborda tratamento dos esgotos coletados, os índices são ainda piores, pois apenas 37,5% do esgoto brasileiro gerado recebe algum tratamento, o restante permanece na maioria das vezes, na rede hídrica (SNIS, 2011).

O efluente doméstico é uma das formas de poluição da água, mas também ocorre a degradação através do lançamento de efluentes industriais, o deflúvio superficial agrícola e carga difusa (VASCO *et al.*, 2011). Os despejos industriais são lançados em corpos d' água sem tratamento com cerca de 70% do total, em países em desenvolvimento. E, os dejetos humanos são responsáveis por despejar 2 milhões de toneladas diariamente. Todavia, estas situações proporcionam que cerca de 1/5 da população mundial vivam em locais nos quais o uso da água excede os níveis mínimos de recarga, diminuindo a disponibilidade de água. Caso este quadro permaneça, por volta do ano 2025, 1 bilhão e 800 milhões de pessoas estarão vivendo em escassez absoluta de água e 2/3 da humanidade pode passar a viver com escassez moderada (ANA, 2012a).

Já distribuição da água potável no Brasil atinge 82,4% da população de áreas urbanas e rurais, mas ainda falta água para milhões de pessoas (SNIS, 2011). As regiões

nordeste, sudeste e sul, são as mais prejudicadas quanto à disponibilidade hídrica superficial e a demanda de água. Decorrentes da baixa disponibilidade hídrica, alta demanda para abastecimento urbano e irrigação, respectivamente (ANA, 2012b).

Entretanto, a falta de acesso a saneamento básico, mata cerca de 5 mil crianças por dia, no mundo, em decorrência da diarreia (UNICEF, 2012). Em termos globais, a diarreia é a principal causa de enfermidades e morte (ANA, 2012a). Estes dados são preocupantes, pois a qualidade de água disponível para abastecimento público e necessidades higiênicas são indicadores de qualidade de vida.

O Brasil é um dos países com maior potencial de recurso hídrico renovável do mundo, mas quanto à disponibilidade hídrica social apresenta-se inferior a muitas nações com menor recurso hídrico, decorrente da desigualdade de distribuição destes recursos no país. As regiões sudeste e sul são as responsáveis por 75% do consumo de água do país (GOHRINGER, 2006), devido à grande concentração da população nestas regiões, mas apresentam-se baixas disponibilidades hídricas social, comparada a região Amazônica (ANA, 2012b).

A região hídrica do Paraná, por exemplo, onde está localizada a maior parte do território do estado de São Paulo, destaca-se negativamente quanto ao balanço hídrico, pois a grande densidade populacional, principalmente em regiões metropolitanas, é responsável pela elevada demanda de água para abastecimento urbano e industrial e altas quantidades de esgotos são produzidos, propiciando situações críticas para algumas bacias hidrográficas, como por exemplo, as dos rios Meia Ponte, Sapucaí, Turvo, Prado e Mogi-Guaçu, Piracicaba e Tietê (ANA, 2012b).

Além da má distribuição e poluição, a demanda excessiva de recursos hídricos propicia ainda mais a escassez da água em algumas regiões. O consumo de água mundial cresce a cada ano em 64 trilhões de litros, devido ao aumento populacional. Estima-se que 54 países enfrentarão escassez severa por volta do ano de 2050, ou seja, conviverão com menos de 1.000 metros cúbicos *per capita* anualmente. Sendo os continentes Africano e Oriente Médio os mais afetados (ANA, 2012a).

Os continentes Europeu e América do Sul são os que mais consomem água para fins domésticos, com 18 e 14% respectivamente, valores a cima da média mundial que corresponde a 8% (ANA, 2012a). Entretanto, grande parte de água consumida internamente em uma residência é destinada para descarga de vasos sanitários, na lavagem de roupas e banhos. E, em média 40% do total de água utilizada são designadas para fins não - potáveis (GONÇALVES, 2009), podendo ser poupada ao reutilizar águas cinza. Em

termos globais, este valor representa economia de milhares de metros cúbicos por ano de água potável, implicando em menores custos de captação, tratamento e transporte da água, decorrentes da diminuição do consumo para fins não-potáveis.

A Organização das Nações Unidas (ONU) sugere para uma pessoa garantir suas necessidades básicas de dessedentação, alimentação e higiene pessoal, utilizar de 20 a 50 litros de água potável por dia (ANA, 2012a). Grande parte dos 1,1 bilhões de pessoas sem acesso a água potável utiliza cerca de 5 litros por dia, ou seja, um décimo do valor médio diário utilizado nos países ricos (SOUZA, 2008).

O consumo médio de água potável no Brasil é de 162,6 L/hab.dia (SNIS, 2011). No Reino Unido é de 343 L/hab.dia, cerca de duas vezes maior que o do Brasil (CLÉMENCEAU *et al.*, 2007). Além do uso excessivo de água potável em alguns países, a perda de água no sistema de distribuição torna-se um fator preocupante. No nosso país, esse índice representa 38,8%, nos anos de 2010 e 2011 (SNIS, 2011).

Contudo, a má distribuição, o uso excessivo e poluição da água propiciam a sua escassez em diversas regiões do mundo. Entretanto, a água de reúso torna-se uma ferramenta essencial para conservação dos recursos hídricos, além de controlar a perda e o desperdício de água, minimiza a produção de efluente e o consumo de água potável.

3.2 Reúso de Água: conceito e aplicação

A água passou a ser um fator limitante para o desenvolvimento socioeconômico, devido sua escassez e poluição. Diante deste panorama, o reúso de água torna-se um artifício fundamental para conservação dos recursos hídricos.

Entretanto, o reúso consiste na utilização de águas residuais tratadas para qualquer finalidade que constitua um benefício sócio-econômico (MONTE e ALBUQUERQUE, 2010). Já Lavrador Filho (1987), define reúso de água como o aproveitamento de águas já utilizadas em alguma atividade humana, uma ou mais vezes, a fim de atender a demanda de outros usos ou mesmo do uso original. E, pode decorrer de forma direta ou indireta, bem como de ações planejadas ou não.

Um recurso disponível para reúso são as águas residuárias domésticas (LANGERGRABER e MUELLEGGGER, 2005). As águas cinza podem ser definidas como águas residuárias originadas de banheiras, pias de cozinha, lavatórios, chuveiros, máquina de lavar roupa e tanque (JEFFERSON *et al.*, 1999; ERIKSSON *et al.*, 2002; OTTOSON e

STENSTRÖM, 2003); provenientes de residências, escolas, escritórios ou edifícios públicos, que não possui contribuição de efluentes de vasos sanitários (MAY, 2009).

Vale ressaltar, que alguns autores, como Nolde (1999) e Christova-Boal *et al.* (1996), não consideram como água cinza o efluente oriundo de cozinhas, por considerá-lo altamente poluído e com inúmeros compostos indesejáveis, como por exemplo, óleos e gorduras.

As águas residuárias residenciais podem ser classificadas da seguinte maneira (OTTERPOHL, 2001):

- águas marrom: efluente proveniente somente de fezes;
- águas amarela: originado somente de urina;
- águas negra (*blackwater*): efluente de vasos sanitários, como fezes, urina e papel higiênico;
- águas cinza: águas servidas, excluindo o efluente de vasos sanitários;

Esta última é o foco do presente trabalho. Segundo Henze e Ledin (2001), existem dois grupos de águas cinza: a clara e a escura. As águas cinza clara constituem-se de efluentes provindos de chuveiro, máquina de lavar roupas, tanque e lavatório. Já as águas cinza escuras, apresenta além dos efluentes das águas cinza claras, o efluente de pia de cozinha e máquina de lavar pratos.

A finalidade da utilização de águas residuais tratadas está vinculada com a qualidade, segurança sanitária e quantidade dos efluentes produzidos pela Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). A rega agrícola é o grande domínio de aplicação da reutilização de águas residuais, pois a agricultura consome cerca de 65% dos recursos hídricos utilizados (ASANO *et al.*, 2007). Mas a água é reutilizada para diversas outras finalidades, nomeadamente as seguintes, por ordem decrescente de volume utilizado: a rega paisagística (aplicação na qual se destaca a rega de campos de golfe), a reutilização industrial (principalmente como reciclagem de água de arrefecimento), a recarga de aquíferos, determinados usos recreativos e ambientais, usos urbanos que não obrigam à utilização de água potável e até como reforço de origem de água bruta para produção de água para consumo humano (USEPA, 2004; MONTE e ALBUQUERQUE, 2010).

Como o objetivo deste trabalho é reuso de águas cinza para fins não-potáveis, serão destacadas as possíveis utilizações para estes tipos de reuso (HESPANHOL, 2008):

- Irrigação de parques e jardins públicos ou privados, centros esportivos, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias;
- Lavagem de veículos;

- Controle de poeira em obras;
- Reserva para combate a incêndios;
- Construção civil, incluindo compactação de solos, lavagem de agregados, preparação e cura de concreto;
- Lavagem de pisos e praças;
- Limpeza de tubulações de esgoto e galerias de águas pluviais;
- Sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes, chafarizes e espelhos d' água;
- Descargas em bacias sanitárias.

Entretanto, o reúso de água não potável, tem diversos fins relacionadas com sua qualidade. De modo geral, a água de reúso pode substituir a água potável em grande parte dos usos, no entanto os riscos sanitários e de saúde pública, consequentes do uso das águas residuais são vários, tornando-se necessário o estabelecimento de critérios e padrões de qualidade para água de reúso (CUNHA, 2008). Entretanto, o item 3.3 mostrará os microrganismos presentes em águas cinza capazes de desencadear uma série de sintomas e doenças, mas precisamente a *E. coli* a fim de posteriormente elaborar faixas de Valores Máximos Permitidos para essa água menos nobre.

3.3 Riscos do reúso

3.3.1 Microrganismos presentes em águas cinza no Brasil

A água cinza pode apresentar grandes quantidades de microrganismos, tais como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Esses, quando patogênicos, podem usar a água como veículo para disseminação de graves doenças, principalmente, em crianças, grávidas, idosos e imunocomprometidos. Os microrganismos são introduzidos nas águas cinza por meio do banho e da lavagem das mãos, de alimentos e de roupas fecalmente contaminados (OTTOSSON e STRENSTRÖM, 2003; GONÇALVES *et al.*, 2006; MAY, 2009).

Os microrganismos associados a água de reúso abordados em estudos brasileiros, estão apresentados na Tabela 1. Estes patógenos são capazes de desencadear uma série de sintomas.

Tabela 1: Microrganismos comumente encontrados em água de reúso no Brasil e suas causas ou sintomas.

Microrganismos	Causa/ sintomas
BACTÉRIAS	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infecções (urinárias, da corrente sanguínea, trato respiratório e feridas) em indivíduos com imunossupressão*
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite (cólicas fortíssimas, diarreia com sangue apenas e insuficiência renal)
<i>Salmonella ssp</i>	Febre, dor de cabeça, manchas na pele, hemorragia capaz de perfurar o intestino
Estreptococos	Endocardites e infecções urinárias e em cortes cirúrgicos**
HELMINTO	
<i>Ancylostoma spp</i>	Diminuição do apetite, indigestão, cólica, indisposição, náuseas, vômitos e flatulência

Fontes: * PITTEN *et al.* (2001); ** TAVARES (2000); RAPPORT (2004); FEACHEM *et al.* (1983); ASANO *et al.* (2007); MONTE e ALBUQUERQUE (2010); REZENDE (2010);

Difícilmente, os trabalhos brasileiros abordam outros tipos de microrganismos em águas cinza, além de coliformes totais, termotolerantes ou *E. coli*, que são os parâmetros básicos para indicar a qualidade da água. Rapport (2004) foi um destes, capaz de avaliar *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella spp.* e Estreptococos em águas cinza de lavatório e chuveiro. Contudo, os dados microbiológicos de águas cinza são escassos. E, até mesmo as informações epidemiológicas de alguns microrganismos se tornam obstáculos para aplicar a Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos - AQRM (BASTOS *et al.*, 2009; MAGALHÃES, 2012). Entretanto, a falta de informações e o custo para obtenção, dificultam calcular AQRM de água de reúso e, conseqüentemente, obter os riscos de infecções aos usuários expostos a esta água menos nobre e elaboração de valores máximos permitidos para discussões de normativas nacionais.

Contudo, o item 3.3.2 irá abordar sobre *E. coli* assim como suas concentrações em águas cinza, características epidemiológicas e modelo dose-resposta, informações essas necessárias para empregar a AQRM a fim de alcançar o objetivo proposto.

3.3.2 *Escherichia coli*

3.3.2.1 Caracterização

A *Escherichia coli* são bastonetes Gram-negativos, anaeróbios facultativos, pertencente à família Enterobacteriaceae (NAKAZATO *et al.*, 2009). É comum do trato intestinal de humanos e animais de sangue quente. Pertence ao grupo dos coliformes

termotolerantes ou fecais, assim como a *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter*, estas nem sempre de origem fecal, como é o caso de *E. coli* (SOUZA, 2010).

A *E. coli* distingue-se dos demais coliformes por possuir as enzimas β -galactosidase e β -glucuronidase; fermenta a lactose e o manitol com a produção de ácido e gás e produz indol a partir de triptofano a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas; não produzem a enzima citocromo oxidase e não-hidrolisam a uréia (WHO, 2003). Algumas cepas crescem à 37 °C, outras não fermentam a lactose (cerca de 10%) ou são indol-negativas (cerca de 3%- 5%) (WHO, 2003).

Este microrganismo coloniza o trato gastrointestinal do recém nascido em suas primeiras horas de vida, desta forma, o sistema imune humano é altamente tolerante à *E. coli* (KAPER *et al.*, 2004). Entretanto, o homem vive de forma harmoniosa com *E. coli*, quando saudável, no qual oferece nutrientes e abrigo para microbiota e, em troca, recebe proteção contra espécies invasoras, contribui para produção de vitaminas e ativa o sistema imune do indivíduo, durante a maturação do sistema gastrointestinal (KAPER *et al.*, 2004). No entanto, em indivíduos debilitados, imunossuprimidos, ou quando a barreira gastrintestinal é violada, até mesmo as linhagens comensais de *E. coli* podem causar peritonites (PINTO *et al.*, 2011). Ademais, podem provocar diarreia, desidratação, infecções urinárias, mastites, septicemias, meningites e até morte em crianças de países em desenvolvimento (VON SYDOW *et al.*, 2006).

Além da *E. coli* comensais consideradas “inofensivas” ao homem, existem as cepas patogênicas que podem evoluir-se de cepas comensais adquirindo fatores de virulência nos seus cromossomos, plasmídeos ou DNA de bacteriófagos (MELO, 2006). As cepas de *E. coli* patogênicas estão associadas a 3 síndromes clínicas principais: infecção do trato urinário, sepse/meningite e entérica/diarréias (KAPER *et al.*, 2004). Este último grupo, de *E. coli* diarreiogênicas, foco do trabalho, é composto por pelo menos 6 patótipos de *E. coli*, sendo classificados de acordo com seus fatores de virulência. Os grupos patogênicos incluem: *E. coli* enterotoxigênica (ETEC), *E. coli* enteropatôgena (EPEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC), *E. coli* enteroinvasiva (EIEC), *E. coli* enteroagregativa (EAEC), *E. coli* com aderência difusa (DAEC) além de outros possíveis grupos ainda não bem caracterizados (KAPER *et al.*, 2004).

Sabendo-se que a *E. coli* têm a capacidade de adquirir novos atributos de virulência ao adaptar aos novos nichos ou ambiente, através de combinações genéticas, implicando em desencadear uma série de doenças em indivíduos saudáveis (KAPER *et al.*, 2004), torna-se necessário, conhecer a sua concentração em águas cinza, os dados

epidemiológicos, o modelo dose-resposta e forma de contaminação aos usuários, a fim de estabelecer os riscos de infecção e os VMP, que garantam a saúde dos usuários de águas menos nobres.

3.3.2.2 Concentração de *E. coli* em águas cinza

Em águas cinza brutas, as concentrações de *E. coli* podem variar com o tipo de efluente e até para o mesmo efluente, conforme apresentado na Tabela 2 no que tange especificamente a trabalhos nacionais. Entretanto, a água misturada, oriunda da junção de dois ou mais potenciais efluentes de águas cinza, é a fonte de reúso capaz de apresentar, na maioria das vezes, as concentrações mais elevadas de *E. coli*. Já a dose infectante (N_{50}), capaz de provocar sintomas clínicos em 50% dos indivíduos em contato com água contaminada é de 10^6 - 10^{10} de *E. coli* (FEACHEM *et al.*, 1983).

As concentrações de *E. coli*, podem ter variado para um mesmo efluente (Tabela 2), devido a diluição da amostra empregada em cada estudo. Além disso, segundo NSW GOVERNMENT (2008), a qualidade da águas cinza pode estar relacionada ao número de pessoas de uma residência, faixa etária, estilo de vida, estado de saúde e padrões de uso da água dos ocupantes.

Tabela 2: Valores de *E. coli* presentes em águas cinza brutas em recentes trabalhos brasileiros, por ordem cronológica.

Referências Bibliográficas	Fonte da água de reúso	<i>E. coli</i> (NMP*/100 mL)
Rapoport (2004) p.45	Mistura (Chuveiro e lavatório)	5×10^4 - $1,6 \times 10^6$
Philippi <i>et al.</i> (2005) p.6	Mistura (lavatório, chuveiro e tanque de lavar roupas)	$1,3 \times 10^5$
Bazzarella (2005) p. 116	Misturada (lavatório, chuveiro, tanque, máquina de lavar e cozinha)	$3,25 \times 10^4$
	Lavatório	$1,01 \times 10^1$
	Chuveiro	$2,63 \times 10^4$
	Tanque	$2,87 \times 10^1$
	Máquina de lavar roupa	$2,73 \times 10^1$
	Cozinha	$6,47 \times 10^2$
Peters (2006) p. 86	Mistura (tanque, lavatório e chuveiro)	$2,7 \times 10^{4**}$
Magri <i>et al.</i> (2007) p. 7	Misturada (chuveiro, lavatórios, tanque e máquina de lavar roupas)	$4,0 \times 10^4$
Valentina (2009) p.97	Misturada (lavatório, chuveiro, máquina de lavar roupas e tanque)	$5,21 \times 10^{0**}$

*NMP (Número Mais Provável); ** Média geométrica;

Rapoport (2004) avaliou a qualidade da água cinza, de uma creche situada no município de Belford Roxo/RJ que atendia a aproximadamente 100 indivíduos (20 adultos e 80 crianças) de baixa renda, com a finalidade de implantar em vasos sanitários. O tratamento do efluente baseou-se em filtração anaeróbia.

Phillipi *et al* (2005) e Peters (2006), avaliaram águas cinza em estabelecimento unifamiliar, localizado em Florianópolis/SC, mas as formas de tratamentos e quantidade de habitantes nas residências eram distintas. Na pesquisa de Phillipi (2005), o tratamento era realizado por filtro de areia e desinfecção para um residência com 5 habitantes. O filtro de areia foi dimensionado segundo critérios estabelecidos na NBR 13969/97 (ABNT, 1997), sendo adotado uma taxa hidráulica de $200 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d}$. A areia empregada no filtro possuía as seguintes características: diâmetro efetivo (d_{10}) de 0,20mm, coeficiente de uniformidade (U) de 4,9, percentual de areia grossa igual a 50,40%, percentual de areia média igual a 30,26%, percentual de areia fina igual a 9,60% e porosidade de 0,54. Já a pesquisa de Peters (2006), realizada na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), continha 3 pessoas e o sistema de águas cinza baseava-se em caixa receptora dos efluentes, filtro de brita com diâmetro de 12,5 a 25,0 mm, caixa de passagem para desinfecção com pastilhas de cloro e reservatório de águas cinza. Na etapa de desinfecção pode ter ocorrido falha, permitindo que o efluente não fosse clorado. Entretanto, o efluente foi distribuído superficialmente e percolado pelo meio filtrante ocasionando uma pequena aeração. No final do processo de filtração a concentração de *E. coli* apresentava-se $6,59 \times 10^2$ NMP/100 mL e, no reservatório de acumulação de águas cinza, $1,21 \times 10^3$ NMP/100 mL. Segundo Peters (2006), o aumento deste parâmetro no reservatório, pode ter decorrido do crescimento biológico na estocagem, corroborando com o estudo de Ledin *et al.* (2001).

Magri *et al.* (2007) monitorou água para fins não-potáveis, em edificações unifamiliares com três moradores, em Florianópolis/SC, a fim de destinar para bacias sanitárias e rega de jardim. O sistema era composto por filtro anaeróbio de brita com diâmetro de 12,5 a 25,0 mm, funcionando como unidade de tratamento primário, seguido pelo filtro aeróbio de areia. O filtro de areia era de fluxo descendente, com uma área superficial de 2 m^2 e 0,80m de altura útil, e foi utilizado como unidade de pós-tratamento. Ao tratar a água com filtro anaeróbio de brita, a concentração de *E. coli* apresentava-se $1,1 \times 10^3$ NMP/100 mL e, depois da passagem pelo filtro de areia, encontrava-se $1,4 \times 10^4$ NMP/100 mL.

Já Valentina (2009) avaliou água cinza de uma edificação residencial multifamiliar de alto padrão, em Vitória/ES, com 30 apartamentos, a qual utilizava a água de reúso tratada por Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC), Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS), Decantador (DEC), Tanque de Equalização (TQE), Filtro Terciário (FT) e desinfecção à base de cloro, para bacias sanitárias, lavagens de pisos e rega de jardins. O FT funcionava como uma unidade de polimento de tratamento biológico, capaz de reter sólidos suspensos remanescentes, constituído de quatro compartimentos de filtração, feitos de nylon. Após todas as etapas de tratamento, a água de reúso tinha valor inferior a 1NMP/100 mL em todas amostras analisadas.

Bazzarella (2005) analisou a água cinza oriunda de um prédio da UFES (Universidade Federal do Espírito Santo). O processo de tratamento baseava-se na associação de um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC), de um Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS), de um Decantador secundário (DEC), de um Filtro Terciário (FT) e de desinfecção à base de cloro. O DEC funcionava por meio de fluxo ascendente e possuía 5 placas paralelas, com distâncias iguais entre elas e inclinadas a 55° em relação a horizontal. O fundo triangular do decantador, proporcionava maior facilidade de remoção do lodo. Já o filtro terciário tinha a finalidade de reter os sólidos suspensos remanescentes, ao operar como uma unidade de polimento de tratamento biológico. Era organizado de fluxo descendente, com dimensões de 0,3m x 0,6m x 2,10m e um volume útil de 0,17m³, composto por uma tela de aço inox perpendicular ao fluxo, funcionando como uma peneira. A concentração de *E. coli*, após todas as etapas de tratamento apresentava 1,51NMP/100 mL.

Contudo, as águas cinza possuem *E. coli* e estas podem causar uma série de sintomas ou doenças. Entretanto, para estabelecer os riscos de infecções por fonte e finalidade de reúso, é preciso conhecer o melhor modelo dose-resposta a ser empregado e dados epidemiológicos de *E. coli*. Assuntos que serão abordados no item 3.3.2.3.

3.3.2.3 Dados epidemiológicos e modelos dose-resposta

Os modelos dose-resposta devem ser empregados de acordo com a necessidade de cada usuário de AQRM. Existem dois modelos dose-resposta: o exponencial e o beta-Poisson. O primeiro, geralmente é empregado para protozoários, helmintos e alguns vírus e, para bactérias e outros vírus, na maioria das vezes é utilizado o modelo beta-Poisson (HAAS *et al.*, 1999).

Independente do modelo a ser utilizado é preciso conhecer as características epidemiológicas do microrganismo a ser estudado, como a dose infecciosa mediana (DI_{50} ou N_{50}) e os parâmetros de interação agente - hospedeiro (α , β e k). Esta última é dotada de valores que referenciam a relação da *E. coli* com o organismo humano. Já a dose infectante, apresenta à quantidade de microrganismos a ser ingerido por um indivíduo sadio capaz de causar infecção (PÁDUA, 2009).

Vale ressaltar, que a quantificação da dose infecciosa é de difícil mensuramento, pois em geral, é dada a indivíduos adultos, bem alimentados e de áreas não endêmicas. Entretanto, para crianças subnutridas de zonas endêmicas, a dose infectante deve ser cautelosamente extrapolada (MONTE e ALBURQUERQUE, 2010).

Já os dados epidemiológicos e os modelos dose-resposta variam com microrganismo estudado e até mesmo com sorotipo da mesma espécie, conforme apresenta os estudos contidos na Tabela 3. Nessa Tabela, a tensão do agente ou sorotipo de *E. coli* (*Escherichia coli* enteroinvasivos - EIEC, *Escherichia coli* enterotoxigênica – ETEC ou *Escherichia coli* enteropatogênica – EPEC), a dose administrada do agente e o modelo de ajuste (beta-Poisson ou exponencial), são apresentados, assim como a resposta obtida à dose administrada ao ser humano.

Existem muitos estudos para descrever os modelos de resposta à dose, mas nem todos são seguros para aplicação, por apresentarem poucas amostras, ter altos níveis de infecções resultante de altas doses, utilizar bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) juntamente com a dose, que neutraliza algum ácido do estômago e possivelmente aumenta a infectividade, obtendo modelos de resposta à dose incertos (ENGER, 2012).

O estudo epidemiológico de DuPont *et al.* (1971), o primeiro apresentado na Tabela 3, baseou-se em administrar três níveis de dose de *E. coli* enteroinvasiva (EIEC) para seres humanos adultos, obtendo como resposta o isolamento de *E. coli* em amostras de fezes, sem que causasse doença ou morte do indivíduo, apenas infecção. Vale ressaltar, que segundo o portal de comunidade de AQRM, o “QMRAwiki”, o modelo dose-reposta imposto por DuPont *et al.* (1971), é o melhor para caracterizar risco para *E. coli* (ENGER, 2013).

Tabela 3: Resumo dos modelos de resposta à dose para *E. coli*

Referência Bibliográfica	Tensão agente (sorotipo de <i>E. coli</i> administrado ao ser humano)	Rota	N° de doses	Resposta	Melhor modelo de ajuste	Parâmetro otimizado (s)	DI ₅₀ (dose infecciosa) ou DL ₅₀ (dose letal mediana)
5	EIEC* 1624	Oral (no leite)	3	Isolamento nas amostras de fezes	beta-Poisson	$\alpha = 1,55E-01$ $N_{50}=2,11E+06$	2,11E+06
5	EIEC 4608	Oral (no leite)	3	Diarréia leve a grave	Exponencial	$k = 9,7E-09$	7,14E+07
5	EIEC 1624	Oral (no leite)	3	Diarréia leve a grave	Exponencial	$k = 1,22E-08$	5,7E+07
9	ETEC** O55 (em papel como "tipo 55, B5")	Oral	4	Doença leve a grave	beta-Poisson	$\alpha = 8,7E-02$ $N_{50}=2,05E+05$	2,05E+05
4	ETEC O111 (em papel como " <i>E. coli</i> 111, B4")	Oral	4	Doença leve a grave	beta-Poisson	$\alpha = 2,63E-01$ $N_{50}=3,56E+06$	3,56E+06
1	ETEC 214-4 (ST)	Oral (no leite)	3	Diarréia ou vômitos	beta-Poisson	$\alpha = 2,5E-01$ $N_{50}=9,1E+07$	9,1E+07
5; 9; 10; 3	ETEC B7A	Oral (no leite)	15	Diarréia leve a grave	beta-Poisson	$\alpha = 1,78E-01$ $N_{50}=8,6E+07$	8,6E+07
6; 7; 8	EPEC*** B171-8 (sorotipo O11: NM)	Oral (com NaHCO ₃)	8	Diarréia	beta-Poisson	$\alpha = 2,21E-01$ $N_{50}=6,85E+07$	6,85E+07
10;11;1 2;13;14; 2	ETEC B7A	Oral (com NaHCO ₃)	19	Diarréia	beta-Poisson	$\alpha = 7,54E-02$ $N_{50} = 1,7E+06$	1,7E+06
5; 9; 1	ETEC B7A	Oral (no leite)	11	Diarréia leve a grave	beta-Poisson	$\alpha = 2,06E-01$ $N_{50}=1,28E+08$	1,28E+08
7; 8; 15	EPEC E2348/69 (O127: H6)	Oral (w. 2g NaHCO ₃)	11	Diarréia	beta-Poisson	$\alpha = 1,62E-01$ $N_{50}=9,98E+07$	9,98E+07
7; 16; 15	EPEC E2348/69 (O127: H6)	Oral (w. 2g NaHCO ₃)	13	Derramar fezes	Exponencial	$k = 1,95E-06$	3,56E+05
5	EIEC 4608	Oral (no leite)	6	Diarréia leve a grave	Exponencial	$k = 1,07E-08$	6,5E+07

* *Escherichia coli* enteroinvasivos (EIEC); ** *Escherichia coli* enterotoxigênica (ETEC); *** *Escherichia coli* enteropatogênica (EPEC). Fonte: 1- Levine *et al.* (1977), 2- Levine *et al.* (1980), 3- Haas *et al.* (1999), 4- Ferguson e June (1952), 5- DuPont *et al.* (1971), 6 -Powell (2000), 7- Levine *et al.* (1978), 8- Bieber *et al.* (1998), 9- June, Ferguson e Worfel (1953), 10- Graham, Estes e Gentry (1983), 11- Coster *et al.* (2007), 12 - Levine *et al.* (1979); 13- Clements *et al.* (1981); 14- Levine *et al.* (1982); 15- Tacket, *et al.* (2000) e, 16- Donnenberg *et al.* (1993) *apud* Enger (2013). Disponível em: http://wiki.camra.msu.edu/index.php?title=Escherichia_coli%3A_Dose_Response_Models#cite_note-SHORT_REF_HERE-20. Acesso em: Outubro de 2012.

Para Haas (2013), um bom modelo dose-resposta deve ter as seguintes características:

- Via de exposição similar/idêntica à via de exposição de infecção natural;
- DI_{50}/LD_{50} baixo (para se obter uma estimativa do risco conservadora);
- Seres humanos, ou modelos animais que imitam bem a fisiopatologia humana;
- Infecção como a resposta, em vez de doença, sintomas ou morte;
- Tensão patógeno é semelhante às tensões que causam a infecção natural;
- Ajuste estatisticamente aceitável (não rejeitar bondade de ajuste, $p > 0,05$);
- Modelo usando dados reunidos a partir de duas ou mais experiências, desde que os conjuntos de dados sejam estatisticamente semelhantes (não rejeitar que os conjuntos de dados são da mesma distribuição, $p > 0,05$);

Vale salientar, que dificilmente encontra-se um modelo com todas as características listadas acima. Portanto, é importante frisar que cada usuário de AQRM, deve utilizar o modelo que mais lhe convêm. O tópico 3.4 apresentará as formas de contaminação e exposição do usuário à água de reúso.

3.4 Formas de exposições associadas aos diferentes usos de águas cinza

Os usuários podem se contaminar por meio de aerossóis, por meio da pele e mucosas ou por meio da ingestão acidental, esse último na maioria dos casos decorrentes de conexão cruzada entre água potável e água de reúso (BLUM, 2003).

Segundo Cohim *et al.* (2007), a exposição é definida pela magnitude e frequência de exposição associada ao uso, intencional ou não, da água de reúso. Já Ashbolt *et al.* (2005), define a exposição através da associação dos parâmetros: volume, rota de exposição e frequência. Segundo o mesmo autor, o volume é definido por meio da distribuição triangular pelos valores mínimo, médio e máximo para cada finalidade; já a média e o desvio padrão, da frequência de eventos, obedecem à distribuição normal (Tabela 4).

A distribuição normal e triangular, de acordo com Ashbolt *et al.* (2005), foi selecionada pela sua simplicidade permitindo alguma variabilidade nos pressupostos modelo. Os valores dos parâmetros para estas distribuições foram geralmente escolhida com base na opinião de especialistas, dada a ausência de dados reais. E, por fim a magnitude e a frequência da exposição associada usos de água recuperada foram descritos na Ferramenta ARM (Avaliação do Risco Microbiológico) usando as distribuições definidas na Tabela 4 (ASHBOLT *et al.*, 2005).

Vale salientar que os valores de frequência de exposição anual do usuário à água de reúso empregada na lavagem de pisos e veículos basearam-se no consumo anual de água para essas finalidades, conforme Tomaz (2003). Já o volume ingerido durante a lavagem de pisos foi semelhante ao da lavagem de veículos mencionada por Zaneti *et al.* (2011), uma vez que os mecanismos de lavagem são os mesmos: mangueiras e lavadoras de alta pressão.

Tabela 4: Distribuição da exposição associada ao uso de água reciclada no meio urbano

Atividade	Rota de exposição	Volume (mL) [mínimo; médio; máximo]	Frequência (ano) [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)*	(48; -)**
	Ingestão (exposição rotineira)	(0,1; 1; 2)*	(48; -)**
Lavagem de pisos	Aerossol	(0,01; 0,1; 0,5)***	(11,06; -)**
	Ingestão (exposição rotineira)	(0,1; 1; 2)***	(11,06; -)**

Fontes: ASHBOLT *et al.* (2005); * ZANETI *et al.* (2011); ** Adaptado de TOMAZ (2003) *** autor

Cohim *et al.* (2007), também avaliou os riscos microbiológicos à saúde humana ao utilizar águas de qualidade inferior à potável em descargas sanitárias, assumindo como a principal rota de exposição, volume ingerido e frequência de exposição imposta por Ashbolt *et al.* (2005), conforme apresentada na Tabela 4. Entretanto, foi constatado que respingos da descarga chegam às alturas de 40 a 50 centímetros do piso. Ao utilizar um aparelho impactador, foram coletadas amostras de aerossóis gerados, nas alturas de 52 a 100 centímetros. Os resultados mostraram que a água de descarga contribui significativamente para o aumento da presença de microrganismos indicadores nos aerossóis, exceto para altura de 100 centímetros, que a ausência de microrganismo indica baixo potencial de risco ao usuário por meio da rota da inalação com o uso de água menos nobre.

Portanto, não restam dúvidas de que o reúso de águas cinza envolvem riscos a saúde do usuário, por existir patógeno e ter formas de contaminação. Entretanto, o estabelecimento de VMP através de riscos aceitáveis se tornam fundamentais, a fim de definir padrão de qualidade e possíveis discussões normativas que garantam a segurança sanitária. Logo que o Brasil não possui legislação acerca de reúso (CAVICCHIA, 2010).

3.5 Riscos aceitáveis e risco zero

A eliminação completa de todos os riscos de contaminação é o pressuposto fundamental do conceito de risco zero, o qual, caracterizado pela ausência de organismos indicadores ou patógenos na água de reúso, é criticado devido à sua fragilidade em termos de fundamentação epidemiológica (BLUMENTHAL *et al.*, 2000). Além disso, tal abordagem requer tratamentos complexos e custosos, diminuindo a viabilidade econômica do reúso de águas menos nobres. Por outro lado, é necessário estabelecerem-se VMP para água de reúso que ofereçam riscos aceitáveis aos usuários, a fim de conciliar custo com eficácia e risco com benefício.

Segundo Hunter e Fewtrell (2001), acreditam que o risco pode ser considerado aceitável e/ou tolerável quando: apresenta abaixo de um limite estabelecido arbitrariamente e do que é tolerável; está abaixo de uma fração do total de carga de doença na comunidade; o custo para minimização do risco excederia o valor economizado e, portanto, seria mais bem gasto em outras ações de promoção a saúde pública; os profissionais de saúde e os responsáveis de políticas públicas dizem que é aceitável; e o público em geral dizem que é aceitável ou não dizem que são inaceitáveis.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), conforme documento *Guidelines for drinking-water quality: incorporating first and second addenda to third edition* (WHO, 2008), estabelece para doenças diarréicas de veiculação hídrica, como é o caso de *E. coli*, um risco aceitável (ou tolerável, na terminologia da OMS) de 10^{-3} pppa (por pessoa por ano). Tal número indica como aceitável a proporção de uma pessoa infectada a cada mil pessoas por ano. Já para água potável, a OMS estabelece um risco tolerável de 10^{-6} pppa ou uma pessoa contaminada a cada milhão de pessoas por ano. E, a USEPA (United States Environmental Protection Agency), risco de 10^{-4} pppa para contaminação microbiana com água potável (HAAS *et al.*, 1999).

Entretanto é necessário estabelecer leis com padrões microbiológicos que sejam ajustados com as peculiaridades de cada país e que ofereçam riscos aceitáveis aos usuários,

pois valores extremos podem inviabilizar o reúso. O item 3.6 abordará as legislações e manuais nacionais e internacionais existentes acerca de reúso, para posteriores comparações.

3.6 Normas e diretrizes nacionais e internacionais para reúso de água

As normas e diretrizes de água de reúso devem ser ajustadas com as características de cada país. Pois, cada um tem sua capacidade sócio-econômica e tecnológica para tratamento da água, resultando em valores máximos permitidos específicos. Na Tabela 5 estão apresentadas diversas legislações internacionais, para parâmetros microbiológicos de água de reúso, inclusive em algumas delas níveis de tratamento da água, são abordados.

Tabela 5: Padrões de qualidade microbiológica para reúso de água em legislações internacionais

Local	Tratamento	Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)	Coliformes Totais (UFC/100 mL)
Arizona	Tratamento secundário, filtração e desinfecção	Não detectável (méd.) 23 (máx)	-
Califórnia	Oxidação, coagulação, filtração e desinfecção	-	2,2 (méd) 23 (máx em 30 dias)
Flórida	Tratamento secundário, filtração e alto nível de desinfecção	Não detectável (75%)* 25 (máx)	-
Havaí	Oxidação, filtração e desinfecção	2,2 (méd.) 23 (máx em 30 dias)	-
Nevada	Tratamento secundário e desinfecção	2,2 (méd.) 23 (máx em 30 dias)	-
Texas	-	20 (méd.) 75 (máx)	-
Washington	Oxidação, coagulação, filtração e desinfecção	-	2,2/100mL (méd) 23/100mL (máx)
Austrália	Desinfecção	< 10 (90%) 30 (máx)	< 1
Sul da Austrália	Secundário, filtração terciária e desinfecção	< 10	< 10
Japão	-	10	10
Canadá	-	200	200
Alemanha	-	-	500

* em 75% das amostras coletas, durante um período de 30 dias, não deve conter Coliformes Termotolerantes.
Fonte: Adaptado de USEPA (2004) e Gonçalves (2006).

Segundo Gonçalves *et al.* (2006), diversos países desenvolvidos estabeleceram diretrizes conservativas, como os padrões californianos, com baixo risco e empregando tecnologias de alto custo. Entretanto, este fato nem sempre garante um risco baixo, por poder apresentar falha no sistema operacional.

Nos Estados Unidos da América (EUA), não existem regulamentações federais para prática de reúso, propiciando que alguns estados desenvolvessem seus próprios guias ou regulamentações para este fim (USEPA, 2004). A Califórnia foi uma das pioneiras a aplicar o reúso na agricultura, mas alguns estados ainda não apresentaram nenhuma regulação ou diretriz a respeito de reúso (CROOK, 1998). Entretanto, a USEPA (2004), busca direcionar adequadamente estes estados sem regulamentações a aderir padrões para o reúso e também reunir dados referentes às legislações existentes dos diferentes estados.

Já no Brasil existem poucas legislações sobre reúso de água, comparado aos EUA. E, a maioria delas, não trata a respeito de padrões de qualidade da água de reúso (nem os possíveis valores e nem apresentam formas de obtê-los), apenas incentivam a utilização de fontes alternativas de água e, às vezes, apresentam forma de tratamento (Tabela 6). Sobretudo, no que refere-se a águas cinza e, em estudos brasileiros. Entretanto, esse presente trabalho, deve proporcionar um documento reflexivo para discussões de normativas nacionais acerca de VMP de águas cinza que ofereçam riscos aceitáveis aos usuários desta fonte.

Segundo Maria Inês Sato, Gerente do Departamento de Análises Ambientais da CETESB (Cia. Ambiental do Estado de São Paulo), o Brasil copia os padrões de outras legislações ou dos valores da OMS. Ainda acrescenta que não é errado adotar os valores da OMS, mas deve-se atentar que os mesmos são estabelecidos de maneira genérica, utilizados por diversos países com realidades diferentes. Entretanto, seria um grande avanço se o Brasil estabelecesse metodologia própria para proposição dos padrões, com base na realidade do país (SAMPAIO, 2012).

Curitiba é um dos municípios brasileiros que implantou legislação para reúso das águas cinza através da Lei N° 10.785, de 18 de Setembro de 2003, que regulamenta a criação do Programa de Conservação de águas em Edificações. Nesta lei, medidas de conservação, uso racional de água e utilização de fontes alternativas são abordadas. Além de descrever a origem das águas servidas, que são provenientes de tanque, máquina de lavar, chuveiro e banheira (MAY, 2009).

Tabela 6: Legislações brasileiras acerca de reúso

Finalidade	Água cinza	Esgoto sanitário	Água de chuva
Contenção	-	-	Lei Nº 13.276/2002 – São Paulo/SP
Uso Predial	Lei Nº 10.785/2003 – Curitiba/PR Lei Nº 6.345/2003 – Maringá/PR	NBR 13.969/1997	Lei Nº 13.276/2002 – São Paulo/SP Lei Nº 10.785/2003 – Curitiba/PR Lei Nº 6.345/2003 – Maringá/PR
Urbano	-	Lei Nº 13.309/2002 – São Paulo/SP Lei Nº 6.076/2003 – Maringá/PR NBR 13.969/1997	-

Fonte: BAZZARELLA (2005)

Também para reúso de águas servidas, existe no município de Maringá a Lei Nº 6345, de 15 de Outubro de 2003, capaz de instituir o programa de aproveitamento de águas de Maringá. Já para esgoto sanitário, Maringá possui a Lei Nº 6076, de 21 de Janeiro de 2003, que regulamenta o reúso de água não-potável, proveniente das estações de tratamento de esgotos, com a finalidade de lavar ruas, praças públicas, passeios públicos e outros logradouros, além de irrigação de jardins, praças, campos esportivos e outros equipamentos, sempre considerando o custo/benefício dessas operações.

Na cidade de São Paulo, a Lei nº 13.309, de 31 de Janeiro de 2002, institui a utilização de água de reúso não-potável, provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) para lavagem de ruas, praças e passeios públicos e outros logradouros, bem como na irrigação de jardins, campos esportivos, praças e entre outros.

A NBR 13.969/1997 aborda o planejamento do sistema de reúso, usos previstos para esgoto tratado, treinamento dos responsáveis, volume de esgoto e seu grau de tratamento, sistema de distribuição e reservatório para esgoto doméstico ou similares com fins não-potáveis, como: lavagens de pisos e veículos, irrigação de jardins e de campos agrícolas, descarga de vasos sanitários, pastagens, manutenções paisagísticas dos lagos e canais com água, entre outros (MAY, 2009).

Já o Manual de “Conservação e reúso de água em edificações” (PIO *et al.*, 2005), aborda as exigências mínimas para uso de água não-potável, padrões de qualidade, fontes alternativas para reúso de água, processos, eficiência e metodologia para implantação de sistemas de tratamento; sempre visando garantir a saúde do usuário.

Na Tabela 7 estão apresentados os padrões de qualidade microbiológica em regulamentações nacionais acerca de reúso. Também mostra as formas de tratamentos requeridos para seus devidos fins.

Tabela 7: Padrões de qualidade microbiológica requeridos para reúso em norma e manual brasileiro

Classes	Tratamento	Finalidade da água de reúso	Parâmetro (CT – NMP/100 mL)
NBR 13.969/1997			
Classe 1	Filtração aeróbia ou lodo ativado por batelada (LAB), filtração convencional e cloração	Lavagens de veículos e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes	<200
Classe 2	Filtração aeróbia ou LAB, filtração de areia e desinfecção. Pode-se substituir a filtração por membranas filtrantes	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardim, manutenção de lagos e canais paisagísticos	<500
Classe 3	Cloração (enxágüe de máquinas de lavar); filtração aeróbia ou LAB, filtração e desinfecção (para outras fontes)	Descarga de vasos sanitários	<500
Classe 4	A irrigação com água de reúso deve ser interrompida pelo menos 10 dias da colheita	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens e outros cultivos com sistema de irrigação pontual ou escoamento superficial.	<5000
MANUAL DE “CONSERVAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES” (PIO <i>et al.</i> , 2005)			
Classe 1	*sistema físico: sedimentação e filtração simples através de decantador e filtro de areia; sistema aeróbio de tratamento biológico lodos ativados ou sistema físico-químico: coagulação, floculação, decantação ou flotação; desinfecção; e Correção de pH.	Descarga de vasos sanitários, lavagens de pisos, fins ornamentais (incluindo chafarizes e espelhos de água), lavagens de roupas e veículos	Não detectáveis
Classe 2	*sistema físico: sedimentação e filtração simples através de decantador e filtro de areia; sistema aeróbio de tratamento biológico lodos ativados ou sistema físico-químico: coagulação, floculação, decantação ou flotação; desinfecção; e Correção de pH.	Lavagens de agregados, preparação de concretos, compactação de solos e controle de poeira	≤ 1000
Classe 3	*sistema físico: sedimentação e filtração simples através de decantador e filtro de areia; sistema aeróbio de tratamento biológico lodos ativados ou sistema físico-químico: coagulação, floculação, decantação ou flotação; desinfecção; e Correção de pH.	Irrigação de jardim e áreas verdes	<200

* tratamento requerido para efluentes de lavatório, chuveiro e máquina de lavar roupas; (-) sem dados; Fonte: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 13.969/1997 e PIO *et al.* (2005).

Comparando o Manual de “Conservação e reúso de água em edificações” (PIO *et al.*, 2005), com a NBR 13.969/1997, pode – se dizer que Manual tem recomendações mais restritivas para água de reúso do que a NBR 13969/19997, tanto para definição das classes conforme usos pretendidos quanto para Valores Máximos Permitidos (VMP) de coliformes termotolerantes.

Já a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), adotou para coliformes termotolerantes valor menor de 200 NMP/100 mL, para reúso de águas com os seguintes fins: limpeza de pátios, pisos ou galerias pluviais; assentamento de poeira em obras; preparação e cura de concretos; desobstrução de rede pluviais e de esgotos; geração de energia e refrigeração de equipamentos em diversos processos industriais. Entretanto, irrigação de hortas, lava-rápidos e piscinas, são usos impróprios desta água.

Vale ressaltar, que a OMS estabeleceu nas diretrizes para o uso de esgotos na agricultura e aquicultura, o limite de 1.000 coliformes termotolerantes (CT)/100 mL para irrigação irrestrita de culturas ingeridas cruas, campos esportivos e parques públicos. Entretanto, para gramados com os quais o público tenha contato direto deve ser adotado 200 CT/100 mL (USEPA, 2004).

O valor estabelecido pela USEPA para gramado é cerca de 5 vezes menor e mais restritivo do que o estabelecido pela OMS para irrigação de culturas ingeridas cruas, que envolve potencial risco de contaminação ao usuário. Esta divergência de valores entre a USEPA e OMS, pode estar relacionada ao fato da primeira impor padrões normativos mais conservadores, que busquem o conceito de risco zero (COHIM e KIPERSTOK, 2007). Enquanto, a OMS, busca padrões cabíveis mundialmente, respeitando a diferença socioeconômica de cada país, através do conceito de riscos aceitáveis.

Os valores dos parâmetros microbiológicos são variados, conforme referência bibliográfica. Mas, para conciliar custo e eficácia assim como risco e benefício é necessário estabelecer VMP através de riscos aceitáveis. Para isso, a ferramenta AQRM torna-se fundamental, assim como para estabelecer grau de tratamento e riscos associados a determinadas exposições, assuntos que serão abordados no item 3.7.

3.7 Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico

A Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) foi empregada pela primeira vez pela USEPA, em 1980, a fim de estimar os riscos a saúde humana associados ao consumo da água e propor formas de tratamento para alcançar o risco tolerável de

infecção por patógenos presentes em águas de consumo humano (HAAS *et al.*, 1999; GERBA *et al.*, 1996; PARKIN, 2007). Posteriormente, também foi incorporada para estimar o risco à saúde humana relacionados às águas recreacionais e residuárias, alimentos, ar e biossólidos (IGNOTO, 2010).

Todavia, a AQRM é uma ferramenta capaz de auxiliar na estimativa de risco de infecção, doença ou morte em decorrência da exposição à patógenos (GERBA *et al.*, 2002). Ainda, possibilita a realização de análise de sensibilidade para definição de áreas em que se precisa aprofundar o conhecimento e para a identificação de pontos críticos de controle (OTTOSSON, 2003). Além de estimar a concentração admissível de organismos patogênicos na água e o grau de tratamento, ao estabelecer o risco tolerável e, realizar os cálculos de AQRM inversamente, conforme apresentado pelas Equações 1, 2 ou 3 e 5 (PÁDUA, 2009).

Porém, ao utilizar risco de infecção, ao invés de doença ou morte, para estabelecer grau de tratamento e padrões microbiológicos, obtêm resultados mais conservadores, suprimindo a deficiência ao considerar a população como homogênea para calcular AQRM, já que de fato a população é heterogênea, incorporando pessoas mais susceptíveis, como idosos, crianças, gestantes e imunocomprometidos (MACLER e REGLI, 1993; HAAS e EISENBERG, 2001).

Além disso, o estabelecimento de risco de infecção garante maior segurança sanitária. Pois nem todos os indivíduos infectados desenvolvem doença ou morrem, entretanto, os riscos para esses casos são menores, incorrendo em VMP mais flexíveis e, consequentemente tratamentos mais simplificados quando comparados aos estabelecidos por riscos de infecção. Entretanto, esse cenário pode comprometer a saúde do usuário, principalmente dos debilitados, que podem ser infectados com dose baixa.

Segundo Anderson *et al.* (2001), os limites microbiológicos dependem da capacidade econômica e do risco de cada nação, variando entre alta tecnologia/ alto custo/ baixo risco e tecnologia simples/ baixo custo/ risco controlado. Porém, é fundamental cada país ter sua legislação acerca de reúso baseada na sua capacidade econômica e de tratamento, a fim de garantir a saúde dos usuários, não os colocando em riscos.

Segundo Bahri e Brissaud (2004), as metas de qualidade microbiológicas apontadas em diretrizes carecem de base científica. E, Pádua (2009) acrescenta: a legislação brasileira carece de melhor fundamentação em AQRM, para o monitoramento de água bruta e o estabelecimento de metas de remoção baseada na avaliação da eficiência do tratamento, que sejam embasadas no conceito de risco tolerável. Por meio destas informações e pela

falta de legislação nacional acerca de reúso, o presente trabalho buscou através da AQRM, estabelecer os riscos de infecções e VMP de água de reúso, favorecendo discussões acerca de normativas brasileiras.

Porém, a AQRM consiste nas seguintes etapas:

Identificação e caracterização do perigo:

Consiste na caracterização inicial da exposição e dos efeitos adversos com a elaboração de um modelo conceitual que descreva o bioagente patogênico ou o ambiente de interesse, definindo população e cenários de exposição (WHO, 2006a).

Avaliação da exposição:

Nesta etapa, estima-se a quantidade de patógenos ingeridos por indivíduo ou população para cada evento de exposição (PÁDUA, 2009). Para isso, é empregada a Equação 1, da *Dose*, a qual faz uso da concentração de microrganismo em águas de reúso, bem como o volume ingerido de água cinza, considerando as rotas de exposição (COHIM e KIPERSTOK, 2007).

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

Análise dose-resposta

O risco de infecção é dado a partir do modelo dose-resposta, a qual busca relacionar a *Dose* de *E. coli* administrada ao usuário e a probabilidade de infecção em uma única exposição.

Vários estudos experimentais com humanos fornecem informações sobre dose-resposta para diversos microrganismos, as quais permitiram o ajuste de dois modelos matemáticos para expressar a probabilidade de infecção resultante da ingestão de um número conhecido de organismos: modelo exponencial (Equação 2) e modelo beta-Poisson (Equação 3 ou 5, nas formas explícitas ou implícitas, respectivamente). Vale ressaltar, que o modelo beta-Poisson expressa maior heterogeneidade na interação microrganismo-hospedeiro do que o exponencial (HAAS *et al.*, 1999; HAAS e EISENBERG, 2001).

$$P_i = 1 - \exp(-d/k) \quad (2)$$

$$P_i = 1 - \left[1 + \frac{d}{N_{50}} \times \left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right) \right]^{-\alpha} \quad (3)$$

A Equação 4 apresenta a relação entre os parâmetros α e β .

$$\beta = \frac{N_{50}}{2^{1/\alpha} - 1} \quad (4)$$

Pode-se reescrever a Equação 3 por meio da combinação com a Equação 4, resultando na Equação 5.

$$P_i = 1 - \left(1 + \frac{d}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (5)$$

Sendo:

P_i : probabilidade de infecção para uma única exposição

d : número de organismos ingeridos por exposição (dose)

N_{50} : dose infectante média

k , α e β : parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro

Os parâmetros k e α , foram utilizados para ajustes da curva dose resposta da função exponencial e beta-Poisson, respectivamente.

Caracterização do risco

Após a aplicação do modelo dose-resposta e, considerando o risco de infecção em uma única exposição, é possível determinar o risco para períodos de tempo maiores, ou seja, para múltiplas exposições durante o período de um ano (P_n), conforme Equação 6.

$$P_n = 1 - (1 - P_i)^n \quad (6)$$

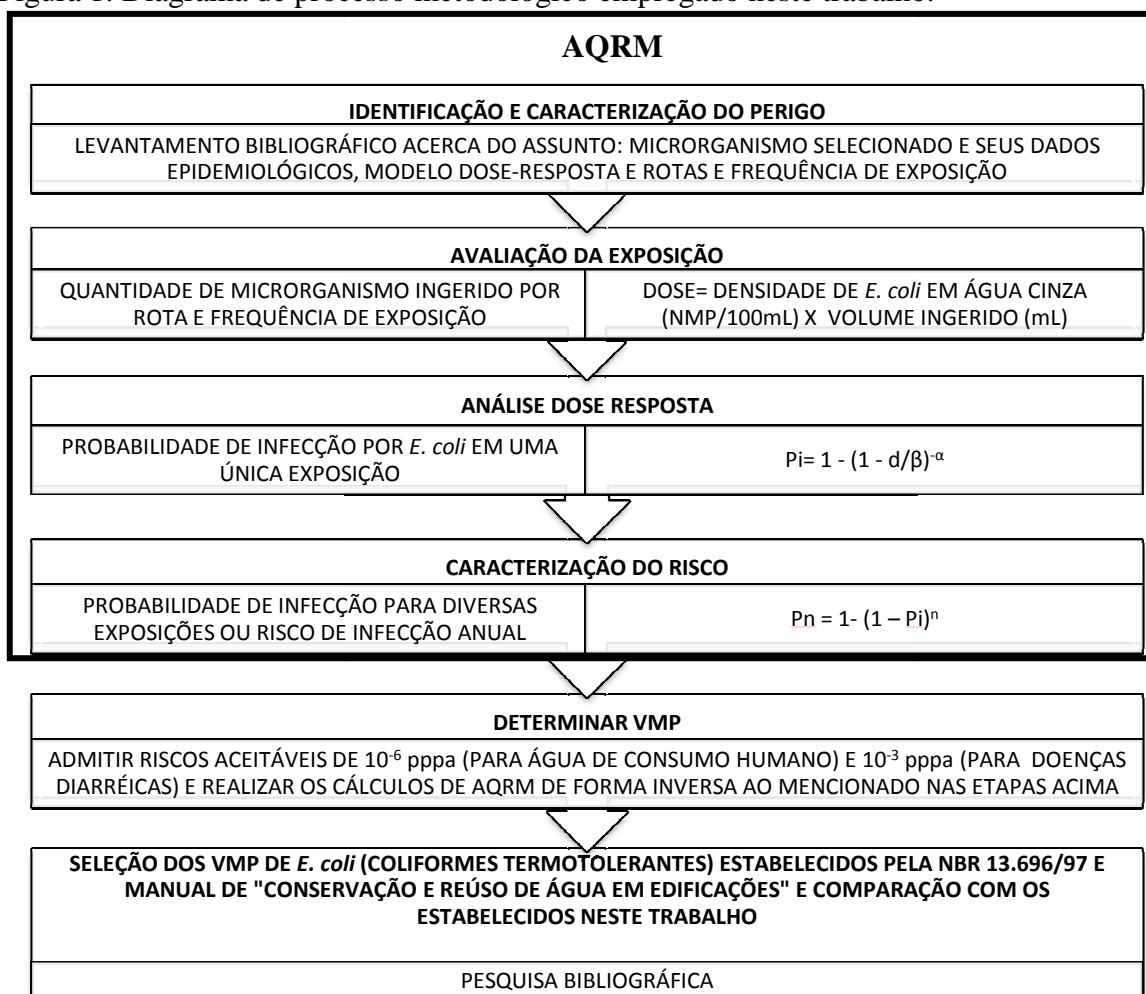
Em que: P_n é o risco anual, P_i é probabilidade de infecção do usuário para uma única exposição (Equação 2 ou 3) e n é o número ou frequência de exposições no ano.

Entretanto, a AQRM fornece informações aos gestores de riscos, especificamente, planejadores e reguladores sobre a probabilidade de efeitos adversos à saúde humana após a exposição a microrganismos patogênicos presentes em águas menos nobres, além de VMP e grau de tratamento requerido. Na medida do possível, o processo da AQRM pode oferecer informações quantitativas e qualitativas, dependendo da necessidade do problema (risco) a ser enfrentado e as informações existentes (SOLLER, 2006). Neste trabalho, a AQRM irá fornecer informações quantitativas de risco.

4 METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta resumidamente o processo metodológico empregado neste trabalho. Inclusive as quatro primeiras etapas, quadriculadas em preto, pertence à ferramenta AQRM, detalhadas no item 4.1. Já as metodologias empregadas, nas demais etapas, estão apresentadas minuciosamente nos itens 4.2 e 4.3.

Figura 1: Diagrama de processo metodológico empregado neste trabalho.



Nos itens a seguir serão descritos os métodos necessários para a realização dos objetivos propostos.

4.1 Determinação dos riscos de infecção de *E. coli* por finalidade de reúso; foi obtida através de Avaliação Qualitativa de Risco Microbiológico (AQRM), que consiste nas seguintes etapas descritas nos itens subsequentes, conforme HAAS *et al.*, 1999.

4.1.1 Identificação e caracterização do perigo

Essa etapa foi realizada por meio de levantamento bibliográfico, em trabalhos científicos brasileiros com dados nacionais de concentrações de *E. coli* em águas cinza bruta (sem tratamento) por fonte de reúso, considerando a diversidade de combinação de um sistema de reúso.

As fontes de águas cinza brutas para reúso investigadas foram: de lavatório, chuveiro, cozinha, tanque, máquina de lavar roupas e água cinza misturada. A água cinza misturada era composta por efluentes de lavatório, chuveiro, cozinha, tanque e máquina de lavar roupas. Avaliou-se a finalidade de reúso em lavagem de veículos e pisos, máquina de lavar roupas, balneabilidade, vaso sanitário, irrigação de áreas públicas, jardim e culturas alimentares.

Vale ressaltar que microrganismos indicadores de qualidade microbiológica da água, como a *E. coli*, não são os mais apropriados para a determinação de risco, por serem abundantes em águas cinza e poderem superestimar os riscos associados, minimizando as faixas aceitáveis dos VMP. Optou-se, todavia, por utilizar esses indicadores devido à disponibilidade de dados epidemiológicos na literatura. Assumiu-se, portanto, que toda concentração de *E. coli* em águas cinza é patogênica e de cepas enteroinvasivas (EIEC – *E. coli* enteroinvasiva), conforme apresentado por DuPont *et al.* (1971), e pode estar associada diretamente à existência de outros potenciais organismos, o que, de certo modo, é conveniente, dada a origem dessas águas. Como consequência dessa simplificação necessária à análise, a aplicação da ferramenta AQRM para *E. coli* resulta em maior segurança aos usuários, na medida em que superestima os riscos. Isso pode ser conveniente pois, em indivíduos debilitados, a *E. coli* pode causar infecções e até morte de crianças em países em desenvolvimento.

4.1.2 Avaliação da exposição

Nesta etapa, foi avaliada a *Dose* por meio da Equação 7, a qual faz uso da concentração de microrganismos em águas cinza brutas, por fonte de reúso, compilados a partir de dados disponíveis na literatura (Tabela 8), bem como por meio do volume ingerido de água cinza, considerando as rotas de exposição para cada finalidade de reúso (Tabela 9).

$$\text{Dose} = \text{Concentração de } E. coli \text{ na água cinza (NMP/mL)} \times \text{Volume ingerido (mL)} \quad (7)$$

Tabela 8: Concentração de *E. coli* (NMP/100mL) em águas cinza brutas

Fonte de reúso	Concentração de <i>E. coli</i> (NMP/100mL)
Misturada (lavatório, chuveiro, tanque, máquina de lavar e cozinha)	$3,25 \times 10^4$
Lavatório	$1,01 \times 10^1$
Chuveiro	$2,63 \times 10^4$
Tanque	$2,87 \times 10^1$
Máquina de lavar roupa	$2,73 \times 10^1$
Cozinha	$6,47 \times 10^2$

Fonte: Bazzarella (2005)

A exposição, segundo Ashbolt *et al.* (2005), está associada aos parâmetros: volume, rota de exposição e frequência. Segundo o mesmo autor, o volume é definido por meio da distribuição triangular pelos valores mínimo, médio e máximo para cada finalidade; já a média e o desvio padrão, da frequência de eventos, obedecem à distribuição normal (Tabela 9).

Vale salientar que os valores de frequência de exposição anual do usuário à água de reúso (Tabela 9) empregada na lavagem de pisos e veículos basearam-se no consumo anual de água para essas finalidades, conforme Tomaz (2003). Já o volume ingerido durante a lavagem de pisos foi semelhante ao da lavagem de veículos mencionada por Zaneti *et al.* (2011), uma vez que os mecanismos de lavagem são os mesmos: mangueiras e lavadoras de alta pressão.

Tabela 9: Distribuição da exposição relacionada à água de reúso

Atividade	Rota de exposição	Volume (mL) [mínimo; médio; máximo]	Frequência (ano) [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)*	(48; -)**
	Ingestão (exposição rotineira)	(0,1; 1; 2)*	(48; -)**
Lavagem de pisos	Aerossol	(0,01; 0,1; 0,5)***	(11,06; -)**
	Ingestão (exposição rotineira)	(0,1; 1; 2)***	(11,06; -)**

Fontes: ASHBOLT *et al.* (2005); * ZANETI *et al.* (2011); ** Adaptado de TOMAZ (2003) *** autor

4.1.3 Análise dose- resposta

A análise de Dose- Resposta busca relacionar a *Dose* de *E. coli* administrado ao usuário e a probabilidade de infecção em uma única exposição, conforme descrito através do modelo beta-Poisson (Equação 8). Tal modelo é amplamente empregado na caracterização de risco de bactérias, como é o caso da *E. coli* (HAAS *et al.*, 1999). Especificamente para esse trabalho, as características de interação agente – hospedeiro foram obtidos a partir dos dados coletados do estudo epidemiológico de DuPont *et al.* (1971).

$$P_i = 1 - \left(1 + \frac{d}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (8)$$

Onde: P_i é a probabilidade de infecção para uma única exposição, d = dose ou número de patógenos ingeridos (Equação 7); α e β = são parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro, obtidos por meio de observações e experimentações, e assumem valores de $2,44 \times 10^4$ e de $1,55 \times 10^{-1}$, respectivamente.

O parâmetro α , foi utilizado para ajustes da curva dose resposta da função beta-Poisson, conforme Equação 8.

4.1.4 Caracterização do risco

Após a aplicação do modelo dose-resposta, e considerando o risco de infecção em uma única exposição, foi possível determinar o risco para períodos de tempo maiores, ou seja, para múltiplas exposições durante o período de um ano (P_n), conforme a Equação 9.

$$P_n = 1 - (1 - P_i)^n \quad (9)$$

Em que: P_n é o risco anual, P_i é probabilidade de infecção do usuário para uma única exposição (Equação 8) e n é o número ou frequência de exposições no ano, obtida da Tabela 11.

4.2 Implantação de valores máximos permitidos em função de um determinado risco;

foi possível, após obter os riscos de infecção anual de *E. coli*, por finalidade e fonte de reúso, de acordo com a rota de exposição, volume ingerido e concentração de patógeno (*E. coli*), identificando o cenário de exposição com maior e menor risco de infecção anual ao usuário. Para esses cenários extremos, denominados com os adjetivos piores e melhores, foram fixados os riscos aceitáveis estabelecido pela OMS, de 10^{-3} pppa para doenças diarréicas, como é o caso da *E. coli* e 10^{-6} pppa, para carga de doença tolerável pelo consumo de água potável, no parâmetro P_n (Probabilidade de infecção anual) e realizando os cálculos do item 4.1 de forma inversa, a fim de obter uma faixa de VMP de *E. coli* capaz de fornecer riscos aceitáveis para usuário de águas cinza.

4.3 Seleção do parâmetro microbiológico nas diferentes normas e diretrizes e comparação com valor máximo permitido estabelecido para cada finalidade do reúso;

através de pesquisa bibliográfica acerca de normas e diretrizes impostas para reúso de água. Em seguida, as informações relevantes foram compiladas em uma tabela para melhor visualização e comparação dos VMP apresentados neste trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação de risco microbiológico para *E. coli* por fonte e finalidade de reúso

As probabilidades de infecção única ($P(-)$) e múltiplas ($P_n(-)$) podem ser visualizadas na Figura 2, o qual foi construído por meio da Equação 3 para doses parametrizadas, considerando o valor de N_{50} de 10^{+6} para *E. coli* (ASANO *et al.*, 2007), α de $1,55 \times 10^{-1}$ e β de $2,44 \times 10^{+4}$, conforme estudo de DuPont *et al.* (1971).

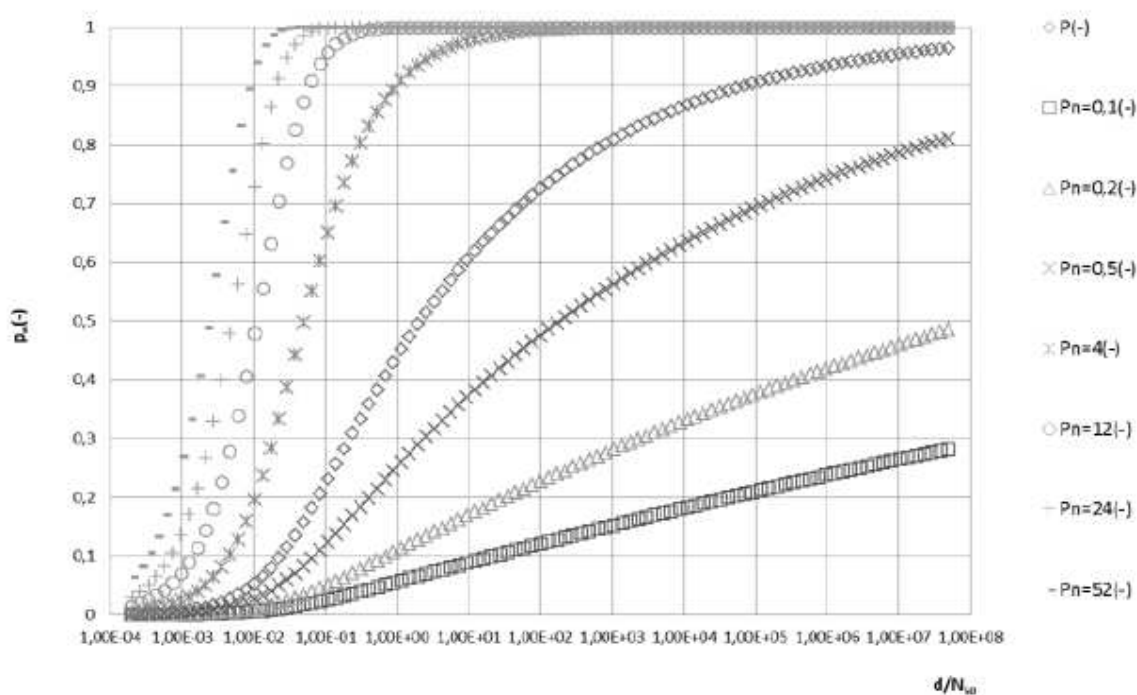


Figura 2 - Probabilidade de infecção normalizada para N_{50} de 10^{+6} para *E. coli* em função da dose-resposta para distribuição de beta-Poisson para exposição única (P) e para diferentes valores de frequência de exposição anual (n). Cálculos efetuados para N_{50} de 10^{+6} , α de $1,55 \times 10^{-1}$ e β de $2,44 \times 10^{+4}$

Pela distribuição beta-Poisson e considerando os dados simulados referentes à *E. coli* com N_{50} de 10^{+6} , verifica-se a probabilidade de infecção para a ingestão única (P) de dose (volume x concentração de *E. coli*) de 0,01 a 100 vezes o valor de N_{50} , que varia cerca de 6 a 70% respectivamente. A frequência de exposições no tempo altera a probabilidade de infecção, conforme ilustram os resultados de P_n para n de 0,1 a 52. Nessas condições, pode-se observar a relação de incremento da probabilidade de infecção com exposições variando de 1 por década (1/10) a 1 por semana (52/ano). O aumento da exposição aumenta substancialmente a probabilidade de infecção, mesmo para baixas relações de d/N_{50} . Por exemplo, para probabilidades de infecção de 20%, tem-se variação da ordem de 10^9 (1bilhão) vezes considerando exposições variando entre 0,1 e 52/ano. Tal fato demonstra a importância da definição da frequência de exposição na determinação do risco associado e, por consequência, nos valores máximos permitidos (VMP).

Entretanto, as probabilidades de riscos de infecção anual para reúso de águas cinza sem tratamento variam de acordo com os parâmetros impostos na função beta-Poisson e a frequência de exposição, as quais serão apresentadas nas Tabelas 10 a 18, por finalidade de reúso, assim como por fonte, volume ingerido e rota de exposição, sejam por meio de exposição rotineira ou acidental. Os riscos destacados em negrito, nessas Tabelas, são as potenciais fontes de contaminação ao usuário, por apresentarem acima do aceitável, que é de uma pessoa infectada a cada mil por ano (10^{-3} pppa), conforme estabelecido pela OMS.

Na Tabela 10 estão apresentados os riscos anuais de infecção por *E. coli* pela utilização de águas cinza na irrigação de jardim. Entretanto, a frequência (uso) anual para esta atividade é em média 150 vezes, para as rotas de exposições de aerossóis e ingestão por exposição rotineira, já para ingestão acidental, este valor é de 1 vez ao ano. Valores estes calculados por meio de distribuição normal e abordado no estudo de Ashbolt *et al.* (2005), conforme Tabela 9. Todavia, para todos os cenários de exposições, os efluentes de lavatório, tanque e máquina de lavar roupas apresentaram potenciais fontes de reúso para irrigação de jardim, por oferecerem riscos baixos aos usuários, ou seja, abaixo do recomendado pela OMS como risco aceitável de 10^{-3} pppa.

Entretanto, para irrigação de jardim o melhor cenário de exposição capaz de oferecer menor risco de infecção aos usuários, decorreu da reutilização de água de lavatório, por apresentar baixa concentração de *E. coli*, através da rota de exposição por aerossol, ingerindo 0,01 mL de água cinza com uma concentração de *E. coli* de 0,101 NMP/mL. Nesse caso, o risco de contaminação é de cerca 9,62 pessoas a cada 10 milhões de pessoas por ano, ou seja, dentro do risco aceitável de 10^{-3} pppa. Já a água cinza

misturada, para esta mesma finalidade, oferece riscos elevados, com 4,57 pessoas contaminadas a cada 10 pessoas por ano, ou seja, quase 50% dos usuários expostos são infectados, considerando a rota de exposição por meio da ingestão rotineira de 2 mL de água cinza, com uma concentração de *E. coli* de 325 NMP/mL de água de reúso, sendo esse o pior cenário de exposição para irrigação de jardim.

Os riscos altos decorreram dos piores cenários de exposição (concentração de *E. coli*, volume ingerido, frequência e rota de exposição), e são potencialmente infectantes aos usuários de água cinza. O contrário ocorre com riscos baixos oriundos de melhores cenários de exposições, resultando em menor poder infectante.

Analisando a Tabela 10, pode-se dizer que o risco está associado ao volume ingerido, pois a frequência de exposição (ano) por mais que seja menor na ingestão acidental (1/ano) do que por meio de aerossol (150/ano), o risco apresenta-se maior, na maioria dos casos, para primeira situação, decorrente ao maior volume ingerido (dose).

Tabela 10: Risco anual de infecção por *E. coli* na irrigação de jardim com águas cinza sem tratamento

Rota de exposição/ volume (mL)	RISCO POR FONTE					
	Misturada	Lavatório	Chuveiro	Tanque	Máq. lavar roupas	Cozinha
Aerossol						
0,01	3,09E-03	9,62E-07	2,50E-03	2,73E-06	2,60E-06	6,16E-05
0,1	3,05E-02	9,62E-06	2,47E-02	2,73E-05	2,60E-05	6,16E-04
0,5	1,43E-01	4,81E-05	1,17E-01	1,37E-04	1,30E-04	3,08E-03
Ingestão (exposição rotineira)						
0,1	3,05E-02	9,62E-06	2,47E-02	2,73E-05	2,60E-05	6,16E-04
1	2,65E-01	9,62E-05	2,21E-01	2,73E-04	2,60E-04	6,15E-03
2	4,57E-01	1,92E-04	3,91E-01	5,47E-04	5,20E-04	1,23E-02
Ingestão acidental						
10	1,92E-02	6,42E-06	1,57E-02	1,82E-05	1,73E-05	4,10E-04
100	1,23E-01	6,41E-05	1,07E-01	1,82E-04	1,73E-04	4,05E-03
200	1,82E-01	1,28E-04	1,63E-01	3,64E-04	3,46E-04	7,98E-03

Na Tabela 11 estão apresentados os riscos anuais de infecção por *E. coli* associados às fontes de água de reúso com a intuito de usar na irrigação de áreas públicas. Pode-se observar que o único efluente potencialmente reutilizável é o de lavatório, independente do volume a ser ingerido, todos os demais podem causar elevados danos à saúde do usuário, por oferecer riscos de infecção elevados, acima do tolerável, de 10^{-3} pppa. Além disso, pode-se notar que o risco aumenta com volume (dose).

Assim como a OMS, Ottosson (2003) também recomenda risco aceitável de $1,0E-03$ ou 10^{-3} por pessoa por ano, para doenças diarreicas de veiculação hídrica, como é o caso da *E. coli*.

Tabela 11: Risco anual de infecção por *E. coli* com água de reúso sem tratamento na irrigação de áreas públicas

Rota de exposição/ volume (mL)	Misturada	Lavatório	RISCO POR FONTE			
			Chuveiro	Tanque	Máq. lavar roupas	Cozinha
Ingestão (exposição rotineira)						
0,1	1,23E-02	3,85E-06	9,97E-03	1,09E-05	1,04E-05	2,47E-04
1	1,16E-01	3,85E-05	9,49E-02	1,09E-04	1,04E-04	2,46E-03
10	6,87E-01	3,85E-04	6,14E-01	1,09E-03	1,04E-03	2,43E-02

Na Tabela 12 estão apresentados os valores de riscos de infecção por *E. coli* ao reutilizar água cinza sem tratamento em culturas alimentares. Vale destacar, que a frequência de exposição anual do usuário a esta atividade é de 150 vezes no ano. Entretanto, todas as fontes de reúso ofereceram riscos elevados aos usuários, acima de 10^{-3} pppa, para pelo menos um volume a ser ingerido. O risco de infecção para esta finalidade de reúso chega contaminar até 9,96 pessoas a cada dez indivíduos expostos. Ou seja, quase 100% da população ao ingerir alimentos cultivados com água cinza misturada podem ser infectados. Portanto, para utilizar esta água menos nobre em culturas alimentares é preciso fazer tratamento, a fim de reduzir o número de patógenos e oferecer riscos aceitáveis aos usuários.

Tabela 12: Risco anual de infecção por *E. coli* com água de reúso sem tratamento na aplicação de culturas alimentares

Rota de exposição/ volume (mL)	Misturada	Lavatório	RISCO POR FONTE			
			Chuveiro	Tanque	Máq. lavar roupas	Cozinha
Ingestão (ingestão de alimentos cultivados)						
1	2,65E-01	9,62E-05	2,21E-01	2,73E-04	2,60E-04	6,15E-03
5	7,77E-01	4,81E-04	7,05E-01	1,37E-03	1,30E-03	3,03E-02
20	9,96E-01	1,92E-03	9,89E-01	5,45E-03	5,19E-03	1,16E-01

Vale destacar que a NBR 13.969/1997, em casos de culturas alimentares, dispensa a irrigação com água de reúso providas de esgotamento sanitário, 10 dias antes da colheita dessas culturas, a fim de garantir a saúde dos usuários, isso para plantações que não sejam rastejantes e via de escoamento superficial ou sistema de irrigação pontual. Para plantações rastejantes, como por exemplo, melancia, melão e hortaliças, a água de reúso não deve ser utilizada mesmo após a desinfecção.

Contudo, esta precaução adotada pela NBR 13.969/1997 para a finalidade de culturas alimentares, tem plena veracidade. Pois realmente, a utilização de águas cinza na atividade de culturas alimentares é uma das maiores formas de contaminação do usuário, conforme pode ser observado na Tabela 12.

Segundo Ashbolt *et al.* (2005), a frequência de exposição anual com água de reúso destinada a vasos sanitários é de 1460 vezes/ano, a maior frequência, comparada as demais finalidades. Mas, mesmo assim, ainda o efluente de lavatório, para todos os volumes a serem ingeridos, atende os requisitos pretendidos para uso em vasos sanitários, oferecer risco inferior a 10^{-3} pppa (Tabela 13). Isso foi possível, por apresentar baixos volumes ingeridos.

Tabela 13: Risco anual de infecção por *E. coli* com água de reúso sem tratamento no banheiro (vasos sanitários)

Rota de exposição/ volume (mL)	RISCO POR FONTE					
	Misturada	Lavatório	Chuveiro	Tanque	Máq. lavar roupas	Cozinha
Aerossóis						
0,01	2,97E-02	9,37E-06	2,41E-02	2,66E-05	2,53E-05	6,00E-04
0,1	2,60E-01	9,37E-05	2,16E-01	2,66E-04	2,53E-04	5,98E-03
0,5	7,77E-01	4,68E-04	7,04E-01	1,33E-03	1,27E-03	2,96E-02

Já para uso na máquina de lavar, apenas os efluentes de lavatório e máquina de lavar enquadraram-se aos padrões estabelecidos pela OMS para risco aceitável (Tabela 14). Os efluentes de tanque e cozinha atenderam parcialmente e o de água misturada e chuveiro, não se enquadraram. Portanto, para estes dois últimos casos recomenda-se tratamento, já que se trata de água cinza sem tratamento, sem diluição e, portanto, forma potencialmente infectante.

Vale ressaltar que a rota de exposição e os volumes ingeridos para as finalidades de reúso em vasos sanitários e máquina de lavar roupas são idênticos, assim como todo o cenário de exposição (fontes de reúso, concentração de *E. coli*, parâmetros de interação agente hospedeiro e dose infectante), exceto apenas para frequência de exposição do usuário a água de reúso, que apresenta-se 1460 vezes ao ano para vasos sanitários e 150 vezes para máquina de lavar roupas.

Entretanto, comparando essas finalidades que variam apenas para frequência, pode-se observar por meio das Tabelas 13 e 14, que o reúso de água em vasos sanitários oferece maiores riscos aos usuários do que a máquina de lavar roupas, por apresentar maior frequência de exposição anual. O maior risco de infecção ocorre pela ingestão de 0,5 mL de água misturada, para ambas as finalidades, mas a utilização em vasos sanitários é capaz de oferecer risco de infecção de 7,77 pessoas contaminadas a cada 10 pessoas por ano. Em contrapartida, a máquina de lavar de roupas, apresenta risco de 1,43 pessoas contaminadas a cada dez. Entretanto, ambas as finalidades oferecem riscos altíssimos quando comparados ao risco aceitável para *E. coli*, mas ao utilizar água misturada em vasos

sanitários, o risco de infecção é cerca de 5 vezes maior ainda do que usar em máquina de lavar roupas, incorrendo em contaminar cerca de 75% da população exposta.

Tabela 14: Risco anual de infecção por *E. coli* com água de reúso sem tratamento na máquina de lavar roupas

Rota de exposição/ volume (mL)	Misturada	Lavatório	RISCO POR FONTE			
			Chuveiro	Tanque	Máq. lavar roupas	Cozinha
Aerossóis						
0,01	3,09E-03	9,62E-07	2,50E-03	2,66E-05	2,60E-06	6,16E-05
0,1	3,05E-02	9,62E-06	2,47E-02	2,66E-04	2,60E-05	6,16E-04
0,5	1,43E-01	4,81E-05	1,17E-01	1,33E-03	1,30E-04	3,08E-03

O risco de reúso de água para balneabilidade é alto, nenhuma fonte de água cinza bruta conseguiu atender, para todos os volumes ingeridos, o valor estabelecido pela OMS, de 10^{-3} pppa (Tabela 15). Este cenário também aconteceu para reúso em irrigação de culturas alimentares, já descrito anteriormente. Contudo, recomenda-se tratamento da água cinza bruta a fim de atender os valores de riscos aceitáveis para esta finalidade.

Tabela 15: Risco anual de infecção por *E. coli* com águas de reúso sem tratamento para balneabilidade

Rota de exposição/ volume (mL)	Misturada	Lavatório	RISCO POR FONTE			
			Chuveiro	Tanque	Máq. lavar roupas	Cozinha
Ingestão						
10	5,39E-01	2,57E-04	4,70E-01	7,29E-04	6,93E-04	1,63E-02
25	8,32E-01	6,41E-04	7,72E-01	1,82E-03	1,73E-03	4,01E-02
100	9,95E-01	2,56E-03	9,89E-01	7,26E-03	6,91E-03	1,50E-01

Os efluentes de lavatório, tanque, máquina de lavar e cozinha, oferecem riscos baixos de infecção por *E. coli* ao usuário quando utilizado para lavagens de pisos (Tabela 16). Em contrapartida, a água cinza misturada e de chuveiro, chegam oferecer riscos de infecção em 4,4 e 3,5 pessoas a cada cem indivíduos expostos rotineiramente a água cinza contaminada, respectivamente.

Ao comparar as rotas de exposição (aerossol e ingestão rotineira) para lavagens de pisos, pode-se observar que por meio de aerossol onde ingere menor volume, os riscos são menores do que pela ingestão por exposição rotineira. Portanto, o volume (dose) está diretamente associado à probabilidade de risco de infecção de *E. coli*, assim como a frequência de exposição anual e a concentração de patógeno.

Tabela 16: Risco anual de infecção por *E. coli* com água de reúso sem tratamento na lavagem de pisos

Rota de exposição/ volume (mL)	Misturada	Lavatório	RISCO POR FONTE			
			Chuveiro	Tanque	Máq. lavar roupas	Cozinha
Aerossol						
0,01	2,28E-04	7,10E-08	1,85E-04	2,02E-07	1,92E-07	4,55E-06
0,1	2,28E-03	7,10E-07	1,85E-03	2,02E-06	1,92E-06	4,55E-05
0,5	1,13E-02	3,55E-06	9,17E-03	1,01E-05	9,59E-06	2,27E-04
Ingestão (exposição rotineira)						
0,1	2,28E-03	7,10E-07	1,85E-03	2,02E-06	1,92E-06	4,55E-05
1	2,24E-02	7,10E-06	1,82E-02	2,02E-05	1,92E-05	4,54E-04
2	4,41E-02	1,42E-05	3,59E-02	4,03E-05	3,84E-05	9,08E-04

Na lavagem de carro, os efluentes de tanque, máquina de lavar roupas e lavatório, oferecem riscos anuais baixos de infecção por *E. coli*, independente da rota de exposição e volume ingerido (Tabela 17). Já os demais efluentes, não atendem integralmente o padrão estabelecido pela OMS, para risco aceitável de 10^{-3} por pessoa por ano.

Tabela 17: Risco anual de infecção por *E. coli* com água de reúso sem tratamento na lavagem de carro

Rota de exposição/ volume (mL)	Misturada	Lavatório	RISCO POR FONTE			
			Chuveiro	Tanque	Máq. lavar roupas	Cozinha
Aerossol						
0,01	9,90E-04	3,08E-07	8,02E-04	8,75E-07	8,32E-07	1,97E-05
0,1	9,85E-03	3,08E-06	7,98E-03	8,75E-06	8,32E-06	1,97E-04
0,5	4,82E-02	1,54E-05	3,92E-02	4,38E-05	4,16E-05	9,86E-04
Ingestão (exposição rotineira)						
0,1	9,85E-03	3,08E-06	7,98E-03	8,75E-06	8,32E-06	1,97E-04
1	9,38E-02	3,08E-05	7,67E-02	8,75E-05	8,32E-05	1,97E-03
2	1,78E-01	6,16E-05	1,47E-01	1,75E-04	1,66E-04	3,94E-03

Zaneti *et al.* (2011), também utilizou a concentração de *E. coli* para calcular AQRM, do reúso de efluentes de lava rápidos, para o operador e o usuário deste sistema. Foi constatado um risco altíssimo para o operador, de 1×10^{-1} pppa. Para o usuário o risco foi menor, baseava-se em 1,7 pessoa contaminada a cada 100.000 pessoas, ou seja, dentro do estabelecido para risco aceitável, um caso a cada mil pessoas. Comparando, aos obtidos neste trabalho, os riscos de reúso variaram de $1,78 \times 10^{-1}$ a $3,08 \times 10^{-7}$ pppa, ao utilizar águas cinza misturadas e de lavatório, respectivamente. Entretanto, a probabilidade de risco de infecção apresentada por Zaneti *et al.* (2011), apresenta-se intermediário ao deste trabalho.

Na Tabela 18 estão apresentados os menores e os maiores riscos de infecção por *E. coli* ao usuário para cada atividade de reúso, dentre todas as combinações (volume, fonte e rota de exposição para cada finalidade de reúso considerada), conforme Tabelas 8 e 9, simplificando-se assim as Tabelas de 10 a 17, dos resultados.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 18, pode-se observar que a água cinza proveniente de lavatório apresenta-se como a fonte de reúso com menores riscos de infecção por *E. coli* ao usuário, independente da finalidade da reutilização. Tal resultado decorre da baixa concentração de *E. coli* no efluente de lavatório, apresentando risco abaixo do recomendado pela OMS, de 10^{-3} pppa. Já a água misturada é potencialmente infectante, apresentando risco de contaminação de 1,43 a 9,96 pessoas para cada 10 pessoas expostas por ano. Para as outras fontes de reúso, ou seja, chuveiro, máquina de lavar roupas, tanque e cozinha, para os diversos usos pretendidos, encontram-se riscos intermediários, conforme resultados apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Riscos altos e baixos de infecção anual ao usuário por *E. coli* decorrentes da fonte de reúso, rota de exposição e volume ingerido para cada finalidade de reúso

Finalidade do reúso	Risco baixo (menor) de infecção			Risco elevado de infecção		
	Fonte de reúso	Rota de exposição/volume (mL)	Risco de infecção (pppa)	Fonte de reúso	Rota de exposição/volume (mL)	Risco de infecção (pppa)
Irrigação de Jardim	LA*	Aerossol (0,01mL)	$9,62 \times 10^{-7}$	AM**	IER*** (2mL)	$4,57 \times 10^{-1}$
Irrigação de áreas públicas	LA	IER (0,1mL)	$3,85 \times 10^{-6}$	AM	IER (10mL)	$6,87 \times 10^{-1}$
Culturas alimentares	LA	IAC**** (1mL)	$9,62 \times 10^{-5}$	AM	IAC (20mL)	$9,96 \times 10^{-1}$
Banheiro (vaso sanitário)	LA	Aerossol (0,01mL)	$9,37 \times 10^{-6}$	AM	Aerossol (0,5mL)	$7,77 \times 10^{-1}$
Máquina de lavar roupas	LA	Aerossol (0,01mL)	$9,62 \times 10^{-7}$	AM	Aerossol (0,5mL)	$1,43 \times 10^{-1}$
Balneabilidade	LA	IA***** (10mL)	$2,57 \times 10^{-4}$	AM	IA (100mL)	$9,95 \times 10^{-1}$
Lavagem de pisos	LA	Aerossol (0,01mL)	$7,10 \times 10^{-8}$	AM	IER (2mL)	$4,41 \times 10^{-1}$
Lavagem de veículos	LA	Aerossol (0,01mL)	$3,08 \times 10^{-7}$	AM	IER(2mL)	$1,78 \times 10^{-1}$

*LA: Lavatório; **AM: Água Misturada; ***IER: Ingestão por Exposição Rotineira;**** IAC: Ingestão de Alimentos Cultivados; *****IA: Ingestão Acidental.

Dentre todas as atividades a serem desenvolvidas com a água de reúso bruta, as culturas alimentares e a balneabilidade são as que chegam oferecer os maiores riscos de infecção por *E. coli* aos usuários desse sistema, incorrendo em risco de aproximadamente 9,9 pessoas a cada dez indivíduos expostos, sem considerar os efeitos de diluição. Ou seja, quase 100 % da população exposta à água cinza misturada para essas finalidades pode ser infectada.

5.2 Valores Máximos Permitidos de reúso de água para fins não-potáveis

O estabelecimento de Valores Máximos Permitidos (VMP) foi possível, após obter os riscos de infecção anual de *E. coli*, por finalidade e fonte de reúso, de acordo com a rota de exposição, volume ingerido e concentração de patógeno, identificando o cenário de exposição com maior e menor risco de infecção anual ao usuário (Tabela 18). Para esses cenários extremos, denominados com os adjetivos piores e melhores, foram fixados os riscos aceitáveis estabelecido pela OMS, de 10^{-3} pppa para doenças diarréicas, como é o caso da *E. coli* e 10^{-6} pppa, para carga de doença tolerável pelo consumo de água potável, no parâmetro P_n (Probabilidade de infecção anual) e realizando os cálculos do item 4.1 de forma inversa, a fim de obter uma faixa de VMP de *E. coli* (Tabela 19) capaz de fornecer riscos aceitáveis para usuário de águas cinza.

Os riscos altos decorreram dos piores cenários de exposição (concentração de *E. coli*, volume ingerido, frequência e rota de exposição) e são potencialmente infectantes aos usuários de água cinza, resultando em baixa concentração de *E. coli* para reúso, expressa em VMP. O contrário ocorre com riscos baixos, os quais possuem diferentes cenários de exposição, com baixa dose infectante e, portanto, incorrendo em valores mais elevados de VMP.

Considerando o melhor cenário de exposição para finalidade de irrigação de jardim, a qual ocorre por meio de aerossol e ingerindo 0,01 mL de água cinza de lavatório, verifica-se VMP de 10.500 NMP/100 mL de água de reúso (Tabela 19). No entanto, caso o usuário esteja exposto de forma rotineira, e para essa mesma atividade, pode ingerir até 2 mL de águas cinza misturadas. Nessas condições, o VMP de *E. coli* passa a ser de 52,5 NMP/100mL de água de reúso, ou seja, há uma redução significativa do valor de VMP, cerca de 99,5%, quando comparada à primeira situação, mesmo mantendo fixa a finalidade de reúso e o risco aceitável de 10^{-3} pppa.

O reúso para irrigação de jardim e para uso em máquina de lavar roupas apresenta os mesmos VMP (Tabela 19) e riscos de infecções anuais (Tabela 18), por constarem os mesmos cenários de exposição.

Dessa forma, uma análise mais específica pode ser feita, desde que sejam conhecidos o cenário de exposição e os valores para os riscos considerados aceitáveis.

Destaca-se, entretanto, que a finalidade deste trabalho é apresentar uma abordagem geral de risco associada aos valores máximos permitidos (VMP), com base em dado brasileiro e para situações genéricas, as quais são abordadas por faixas de valores,

correspondentes a máximos e mínimos. Dessa forma, podem-se tratar os resultados por cenários de exposição de alto e baixo riscos. Deve-se atentar para o fato de que o princípio da precaução deve nortear as decisões na ausência de dados confiáveis, prezando pela adoção de VMP mais baixos, os quais resultam dos piores cenários de exposição e de riscos altos de infecções.

Em termos gerais, pode-se dizer que a concentração de *E. coli* para finalidade de irrigação de jardim deve ser $\leq 52,5$ NMP/100 mL de água cinza para um risco aceitável de 10^{-3} e $\leq 0,05$ NMP/100 mL para um risco de 10^{-6} pppa (Tabela 19), valores esses obtidos por meio de cálculos de AQRM, para probabilidade de risco de infecção anual (P_n), na frequência de exposição de 150 vezes por ano.

Tabela 19: VMP de *E. coli* em águas cinza associado à finalidade do reúso

Finalidade de reúso	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL) para risco de 10^{-3} pppa		<i>E. coli</i> (NMP/100 mL) para risco de 10^{-6} pppa	
	Risco alto	Risco baixo	Risco alto	Risco baixo
Irrigação de jardim	52,5	$10,5 \times 10^3$	0,05	10,5
Irrigação de áreas públicas	26,3	$26,2 \times 10^2$	0,03	2,62
Irrigação de culturas alimentares	5,25	$10,5 \times 10^1$	0,00	0,10
Vaso sanitário	21,6	$10,8 \times 10^2$	0,02	1,08
Máquina de lavar roupas	$21,0 \times 10^1$	$10,5 \times 10^3$	0,21	10,5
Balneabilidade	3,95	39,5	0,00	0,04
Lavagem de veículo	$16,4 \times 10^1$	$32,9 \times 10^3$	0,16	0,33
Lavagem de pisos	$71,5 \times 10^1$	$14,3 \times 10^4$	0,71	$14,3 \times 10^1$

Vale salientar que a conexão cruzada incorre em risco potencial de contaminação ao usuário, mesmo apresentando frequência de exposição baixa, com 4×10^{-5} vezes ao ano. Isso porque o valor do N_{50} é da mesma ordem de grandeza da concentração presente em água cinza bruta. Assim, baixos volumes de ingestão conduzem a elevadas doses, resultando em riscos potencialmente elevados. Por essa razão, a conexão cruzada deve ser evitada. O item a seguir abordará os valores máximos permitidos obtidos através de riscos aceitáveis neste trabalho relacionado-os com os encontrados em legislações

5.3 Comparação dos Valores máximos Permitidos obtidos neste trabalho com os de legislações nacionais

Os VMP obtidos neste trabalho foram comparados com os da Norma Brasileira - NBR 13.696/97 (Associação Brasileira de Normas técnicas - ABNT, 1997) e os do Manual de “Conservação e reúso de água em edificações” (PIO *et al.*, 2005), as quais se apresentam como duas referências nacionais que abordam os padrões de qualidade da água de reúso (Tabela 20). Os VMP quadriculados, na Tabela 20, são os que se enquadram na NBR 13.696/97 e os circulados, no Manual de “Conservação e reúso de água em edificações”.

Observa-se que todos os valores de VMP atendem ao critério de riscos aceitáveis para 10^{-6} pppa, independente de decorrerem de riscos baixos ou altos, pois apresentam valores abaixo do requerido pela NBR 13.696/97, exceto apenas para balneabilidade e máquina de lavar roupas que não estabelece VMP a fim de compará-los com os obtidos nesse presente trabalho. Da mesma forma, quase a totalidade do risco alto das finalidades de reúso para riscos aceitáveis de 10^{-3} pppa é atendida, exceto apenas para lavagem de pisos, em que o limite superou o valor de 500 NMP/100mL recomendado pela NBR 13696/97. E, para risco baixo de infecção decorrente de riscos aceitáveis de 10^{-3} pppa, somente a irrigação de cultura alimentar atende a Norma.

Tais resultados indicam que, à luz das considerações e hipóteses adotadas para esta avaliação preliminar, normativas mais permissivas podem ser consideradas, de modo a atender ao critério de risco tolerável, sem prejuízo à saúde dos usuários. Tal fato poderia fomentar a oferta segura de água de reúso, auxiliando a difusão dessa estratégia.

Tal afirmação encontra respaldo na própria definição de riscos aceitáveis apresentada pela WHO (2006b). Segundo esse documento e conforme abordado por Moruzzi (2008), a adoção de valores de VMP muito restritivos relacionados ao conceito de risco zero pode inviabilizar a aplicação de técnicas de reúso ou, por outro lado, induzir a práticas inseguras, por serem inviáveis e, portanto, negligenciadas pelos usuários. Assim, o estabelecimento de um valor de risco considerado aceitável e seus valores correspondentes de VMP pode contribuir para a difusão de práticas seguras e para a implantação de sistemas de reúso de águas cinza.

Vale destacar que as finalidades de reúso investigadas consideraram o uso de água cinza bruta (sem tratamento prévio) e sem considerar o efeito de diluição em águas de

melhor qualidade. Da mesma forma, devem ser consideradas outras barreiras sanitárias, as quais podem minimizar os riscos associados à manipulação e exposição dos usuários.

Tabela 20: Comparação dos VMP de *E. coli* obtidas neste trabalho com os da NBR 13.969/1997 e o Manual de “Conservação e reúso de água em edificações”

Finalidade de reúso	<i>E. coli</i> (NMP/100mL) para risco de 10^{-3} pppa		<i>E. coli</i> (NMP/100mL) para risco de 10^{-6} pppa		Norma e manual brasileiro	
	Risco alto	Risco baixo	Risco alto	Risco baixo	NBR 13.696 /1997	Manual (PIO <i>et al.</i> , 2005)
Irrigação de jardim	52,5	$10,5 \times 10^3$	0,05	10,5	<500	<200
Irrigação de áreas públicas	26,3	$26,2 \times 10^2$	0,03	2,62	<500	-
Irrigação de culturas alimentares	5,25	$10,5 \times 10^1$	0,00	0,10	<5000*	-
Vaso sanitário	21,6	$10,8 \times 10^2$	0,02	1,08	<500	N.D.**
Máquina de lavar roupas	$21,0 \times 10^1$	$10,5 \times 10^3$	0,21	10,5	-	N.D.
Balneabilidade	3,95	39,5	0,00	0,04	-	-
Lavagem de veículo	$16,4 \times 10^1$	$32,9 \times 10^3$	0,16	0,33	<200	N.D.
Lavagem de pisos	$71,5 \times 10^1$	$14,3 \times 10^4$	0,71	$14,3 \times 10^1$	<500	N.D.

* exclui irrigação de hortaliças e frutas com ramas rastejantes; ** Não detectável (N.D); (-) não possui dados

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho buscou apresentar valores máximos permitidos (VMP) para diferentes finalidades de reúso de águas cinza sem tratamento, à luz do conceito de riscos toleráveis, empregando ferramenta de Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM).

Verificou-se o potencial de emprego dessa ferramenta e a possibilidade de discussão embasada e segura acerca dos VMP, alicerçados nas técnicas propostas. De forma geral, a Norma Brasileira (NBR) 13696/97 apresenta VMP mais maleáveis, quando comparados aos obtidos pelas técnicas quantitativas utilizadas, sobretudo para os VMP obtidos de riscos aceitáveis de 10^{-6} pppa; para quase a totalidade do risco alto das finalidades de reúso para riscos aceitáveis de 10^{-3} pppa, exceto apenas para lavagem de pisos, e; inclusive para o VMP de irrigação de culturas alimentares obtido de risco baixo de infecção e de riscos aceitáveis de 10^{-3} pppa. Já o Manual de Reúso (PIO *et al.*, 2005) apresenta VMP mais restritivos do que aos da NBR 13696/97 bem como aos desse presente trabalho, com exceção apenas para Irrigação de jardim, decorrentes de riscos altos de infecção para riscos aceitáveis de 10^{-3} e 10^{-6} pppa e para risco baixo de infecção transcendente de riscos aceitáveis de 10^{-6} pppa. Deve-se atentar que o estabelecimento de valores inatingíveis pode induzir a práticas inseguras, ou mesmo desestimular o reúso de águas cinza. Por outro lado, a adoção de VMP demasiadamente flexíveis pode aumentar o risco aos usuários finais.

Dessa maneira, o estabelecimento dos VMP para as diferentes finalidades de reúso deve ser realizado à luz dos conceitos de riscos toleráveis. É necessário também se conhecerem os potenciais contaminantes presentes nas águas cinza sem tratamento a serem utilizadas bem como seus (re)usos mais restritivos.

Inclusive, em primeira instância, recomenda-se o levantamento de todos os parâmetros utilizados no método de AQRM, como a dose infectante (N_{50}), a concentração de microrganismos, a rota de exposição, os volumes ingeridos (acidentalmente e rotineiramente), os parâmetros de interação agente-hospedeiro (α e β), bem como a

frequência de exposição, pois a falta desses dados assim como os custos para obtenção, principalmente de dados epidemiológicos, implica na utilização dessa ferramenta, dificultando a obtenção dos riscos de infecção, doença ou morte por exposição do indivíduo com a água, ar, biossólidos ou alimentos contaminados, assim como o grau de tratamento requerido e as concentrações admissível de patógeno nesses meios. Espera-se que o documento ora apresentado possa fomentar discussões acerca das referências normativas nacionais sobre reúso de águas cinza.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ANA. Agência Nacional de Águas. *Água na medida certa: a hidrometria no Brasil*/ Agência Nacional de Águas; textos elaborados por Antonio Cardoso Neto. Brasília: ANA, 2012a. p. 29-37.

ANA. Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012*. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012b. p. 73-193.

ANDERSON, J.; ADIN, A.; CROOK, J.; DAVIS, C.; HULTQUIST, R.; JIMENEZ-CISNEROS, B.; KENNEDY, W.; SHEIKH, B.; van der MERWE, B. Climb the ladder: a step by step approach to international guidelines for water recycling. *Water Science and Technology*. IWA Publishing. v.43, n. 10, 2001, p. 1-8.

ASANO, T.; BURTON, F.L.; LEVERENZ, H.L.; TSUCHILASHI, R.; TCHOBANOGLOUS, G. *Water reuse: issues, technologies, and applications*. 1st ed. New York: Mcgraw-Hill, 2007. (Copyright by Metcalf & Eddy, Inc.)

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.

BAHRI, A.; BRISSAUD, F. Setting up microbiological water reuse guideline for the Mediterranean. *Water Science and Technology*. IWA Publishing. v.50, n. 2, 2004, p. 39-46.

BASTOS, R.K.X; BEVILACQUA, P.D.; DIAS, G.M.F.; BARONY, F.J.A.. Análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola de lodos de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco. *Revista Aidis de Engenharia y Ciencias Ambientales*. v. 2, n. 1, 2009. p. 143-159.

BAZZARELLA, B.B. *Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005, p. 118.

BERNARDO, M.S.M.V . *Comparação dos métodos aplicados na detecção de bactérias coliformes, Escherichia coli e Enterococcus sp. em águas para fins recreativos*. Dissertação (Mestrado em Qualidade em Análises) - Universidade do Algarve. Faro, 2007. p. 6-8.

BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P.C.S; SANTOS, H.F dos. *Reúso de Água*. Ed. Manole. São Paulo, 2003, p. 125-173.

BLUMENTHAL, U.J.; PEASEY A.; RUIZ-PALACIOS G.; MARA D.D. *Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence*. London: WELL, 2000.

CARR, R.M.; BLUMENTHAL, U.J.; MARA, D.D. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture: developing realistic guidelines. In: SCOT, C.A.; FARUQUI, N.I; RASCHID-SALLY, L. *Wastewater use in irrigated agriculture: coordinating the livelihood and environmental realities*. Wallingford: CAB International, IWMI, IDRC, 2004, p. 41-58.

CAVICCHIA, R. V. *Levantamento e análise dos padrões de qualidade nacionais e internacionais estabelecidos para reúso de efluentes e aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas*. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro, 2010, p. 16-23.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*. v.106, n. 1-3, 1996, p. 391 – 397.

CLÉMENCEAU, A.; BORG, P.P; ALTMUTTER, M.L. (Coord.). *Consumers in Europe: Facts and figures on services of general interest*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007. p. 86-87.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Uso de água cinza para fins não potáveis: um critério racional para definição da qualidade. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24º Anais*. Belo Horizonte/ MG, 2007. p. 4.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A.; LEITE, C.C.; BRASIL, M.P.; BÓRTOLI, E. Avaliação de risco à saúde humana do reúso de águas residuárias tratadas em descargas de vaso sanitário: a rota dos aerossóis. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24º Anais*. Belo Horizonte/ MG, 2007. p. 8.

CROOK, J. Water reclamation and reuse criteria. IN: ASANO, T. Water quality management library –. *Wastewater reclamation and reuse*. v. 10. Pennsylvania, USA: Technomic Publication, 1998.

CUNHA, V. D. *Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. p. 18-19.

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 (1971). Pathogenesis of *Escherichia coli* diarrhea. *The New England Journal of Medicine*. v. 285, n. 1, 1971, p.1-9.

ENGER, K. S. (2013). Disponível em: http://wiki.camra.msu.edu/index.php?title=Escherichia_coli%3A_Dose_Response_Models#cite_note-SHORT_REF_HERE-20. Acesso em: Julho de 2013.

ERIKSSON, E; AUFFARTH, K. MOGENS, H.; LEDIN, A. A characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v.4, n. 1, 2002, p. 58 – 104.

FEACHEM, R.G.; BRADLEY, D.J; GARELICK, H.; MARA, D.D. *Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*. John Wiley & Sons, Chichester, 1983. p. 201

GERBA, C.P.; PEPPER, I.L., WHITEHEAD, L.F. A risk assessment of emerging pathogens of concern in the land application of biosolids. *Water Science and Technology*. v. 46, n. 10, 2002, p. 225-230

GERBA, C.P.; ROSE, J.B.; HAAS, C.N.; CRABTREE, K. Waterborne rotavirus: risk assessment. *Water Research*. v. 30, n. 12, 1996, p. 2929-2940.

GOHRINGER, S.S. *Uso urbano não potável de efluentes de estação de tratamento de esgoto sanitário*. Estudo de caso: município de Campo Largo – PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Pontifícia Universidade Católica do Paraná Curitiba, 2006. p. 57.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Uso racional da água em edificações*. Publicação integrante do Projeto PROSAB - Edital 4. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 45.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Uso racional de água e energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Publicação do PROSAB – Edital 5. Rio de Janeiro: ABES, 2009, p.26.

HAAS, C.N. (2013). *Criteria for choosing dose response models*. Disponível em: http://qmrawiki.msu.edu/index.php?title=Dose_response_assessment#Criteria_for_choosing_dose_response_models. Acesso em: Maio de 2013.

HAAS, C.N.; EISENBERG, 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. 1612-183.

HAAS, C.N.; ROSE, J.B.; GERBA, C.P. *Quantitative microbial risk assessment*. New York: John Wiley & Soares, 1999.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estudos Avançados*. v. 22, n.63, 2008, p. 131-158.

HENZE, M.; LEDIN, A. *Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters*. New York: IWA Published, 2001.

HUNTER, P. R.; FEWTRELL, L: *Acceptable Risk in Water Quality - Guidelines, Standards and Health: Assessment of Risk and Risk Management for Water-Related Infectious Disease*, Edited by Lorna Fewtrell, Center for Research into Environment and Health, Aberystwyth, Wales and Jamie Bartram, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2001.

IGNOTO, R.F. *Avaliação quantitativa de risco microbiológico em águas e biossólidos: estado da arte*. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010, p. 29.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*. 1999, p. 285-292.

KAPER, J.B.; NATARO, J.P; MOBLEY, H.L.T. Pathogenic *Escherichia coli*. *Natura Reviews/Microbiology*. v. 2, 2004, p.123.

LANGERGRABER, G; MUELLEGGER, E. Ecological Sanitation – a way to solve global sanitation problems?. *Environmental International*. v.31, n. 3, 2005, p. 433-444.

LAVRADOR FILHO, J. *Contribuição para o Entendimento do Reúso Planejado da Água e algumas Considerações Sobre suas Possibilidades no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987, p. 191.

LEDIN, A.; ERIKSSON, E.; HENZE, M. Aspects of groundwater recharge using grey wastewater. In: *Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, systems and implementation*. Cap. 18. London/UK: IWA Publishing, 2001, p. 354-369.

MACLER, B.A.; REGLI, S. Use of microbial risk assessment in setting US drinking water standards. *International Journal of Food Microbiology*, v. 18, n. 4, 1993, p. 245-256.

MAGALHÃES, T.B. *Uso agrícola de biossólidos: análise crítica da resolução conama 375/2006 na perspectiva da metodologia de avaliação quantitativa de risco microbiológico*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Viçosa – MG. 2012. p. 52-53.

MAGRI, M.E.; FENELON, F.R.; RABELO, L.; ROSSETO, T.S.; PHILIPPI, L.S. Reúso de águas cinzas tratadas em descarga de vaso sanitário e rega de jardim. In: *XIII SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Florianópolis - Santa Catarina, 2007. p.8

MAY, S. *Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações*. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo. p. 6-91.

MELO, S.K. *Caracterização de fatores de virulência em amostras de Escherichia coli isoladas de lagoas do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG, 2006. p.7-21

MONTE, H.M.; ALBUQUERQUE, A. *Série Guias técnicos: Reutilização de Águas Residuais*. Nº 14. Edição: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos e Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa (Portugal), 2010.

MORUZZI, R.B. Reúso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios. *OLAM – Ciência & Tecnologia*. Rio Claro, v. 8, n. 3, 2008, 292p.

NAKAZATO, G.; CAMPOS, T.A.; STEHLING, E.G.; BROCCHI, M. ; SILVEIRA, W.D.. Virulence factors of avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC). *Pesq. Vet. Bras.* v.29, n. 7, 2009, p. 479.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water*. v. 1, n. 4, 1999, p. 275-284.

NSW GOVERNMENT. *NSW guidelines for greywater reuse in sewerred, single household residential premises*. Department of Water & Energy. Sydney, 2008. p.5

OTTERPOHL, R. *Black, brown, yellow, grey – the new colors of sanitation*. *Water* 21, 2001, p. 31-41.

OTTOSSON, J. Fecal contamination of greywater – assessing the treatment requirement for hygienically safe reuse or discharge. In: *2ⁿ International Symposium on Ecological Sanitation*. Lübeck, 2003.

OTTOSON, J.; STRENSTRÖM, T. A. Fecal contamination of greywater and associated microbial risk. *Water Research*. v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.

PÁDUA, V. L de (Coord.). *Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Prosab 5 p. 120.

PARKIN, R.T. Microbial Risk Assessment. IN: ROBSON, M.; TOSCANO, W.; Editors. *Risk Assessment for Environmental Health*. San Francisco: John Wiley & Sons; 2007.

PETERS, M.R. *Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006, p. 63-86.

PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H.; PETERS, M.R.; LAPOLLI, F.R. Reúso de águas cinzas (greywater) e água de chuva em uma unidade residencial. In: *Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais 23º*. ABES. Florianópolis, 2005, p.1-7.

PINTO, F.A.; DIAS, C.R.; RAMOS, M.; ELLIOT, S.L. Interações simbióticas entre *Escherichia coli* e seres humanos: a instabilidade de uma relação. *Revista HCPA*. v. 31, n. 4, 2011, p. 451-455.

PIO, A.A.B.; DOMINGUES, A.F.; SARROUF, L.; PINA, R.S.; GUSMAN-JUNIOR, U. (Coord.). *Conservação e reúso de água em edificações*. Prol Editora Gráfica. Publicação da ANA, FIESP e SindusCon. São Paulo, 2005, p. 50-61.

PITTEN, F.A. ; PANZIG, B.; SCHRODER, G.; TIETZE, K.; KRAMER, A. Transmission of a multiresistant *Pseudomonas aeruginosa* strain at a German University Hospital. *J. Hosp. Infec.*, v. 47, 2001, p.125-130.

RAPOPORT, B. *Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial*. Dissertação (Mestrado) – Escola Nacional de Saúde Pública do Rio de Janeiro, 2004. p. 35 - 45

REZENDE, C.C.S. *Reúso potável de esgoto sanitário: possibilidades e riscos*. Dissertação (Mestrado em Ciências - Departamento de hidráulica e saneamento). São Carlos, 2010.

SAMPAIO, A.O. (Editor). Nova Portaria de potabilidade de águas: busca de consenso para viabilizar a melhoria da qualidade de água potável distribuída no Brasil. *Revista DAE*. n. 189, 2012, p. 10-14.

SCORTEGAGNA, V. *Contribuições para o estabelecimento de padrões para águas de reúso através da análise de risco*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Infraestrutura e Meio Ambiente). Universidade de Passo Fundo, 2011. p. 39

SNIS (2011). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Situação de Saneamento no Brasil*. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/situacao-do-saneamento-no-brasil>. Acesso em: 18 de Agosto de 2013.

SOLLER, J.A. Use of microbial risk assessment to inform the national estimate of acute gastrointestinal illness attributable to microbes in drinking water. *Journal of water and Health*. [S.l.], v. 4, suppl. 2, 2006, p. 165-186.

SOUZA, A.F.S. *Diretrizes para implantação de sistemas de reúso de água em condomínios residenciais baseadas no método APCC – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle: Estudo de caso residencial Valville I*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

SOUZA, N.C.C.S. *Desenvolvimento de um imunossensor para detecção de Escherichia coli em água*. (Dissertação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química. Rio de Janeiro, 2010, p. 6.

TAVARES, W. Bactérias gram-positivas problemas: resistência do estafilococo, do enterococo e do pneumococo aos antimicrobianos. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.*, Uberaba, v. 33, n. 3, 2000, p. 281-301.

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

UNICEF. *Dados do Relatório da Organização Mundial da Saúde e UNICEF: “Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation (JMP) – 2012”*. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/situacao-no-mundo-2>. Acesso em: 03 de Abril de 2013.

USEPA – *Guidelines for Water Reuse*. Report EPA/625/R-04/108, Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA, 2004.

VASCO, A.N.; BRITTO, F.B.; PEREIRA, A.P.S.; MELLO JÚNIOR, A.V.M.; GARCIA, C.A.B.; NOGUEIRA, L.C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. Taubaté, v. 6, n. 1, 2011. p. 118-130.

VALENTINA, R.S.D. *Gerenciamento da qualidade e da quantidade de água cinza em uma edificação residencial de alto padrão com vistas ao reúso não potável*. Vitória, 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. p.97.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. v. 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. UFMG, 2005. 452 p.

VON SYDOW, A.C.M.D.G.; COOGAN, J.A.; MORENO, A.M.; MELVILLE, P.A.; BENITES, N.R. Benites. Ocorrência de fatores de virulência em estirpes de *Escherichia coli* isoladas de fezes de cães errantes. *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, v.73, n.4, 2006, p.401-407.

WHO. World Health Organization. Assessing Microbial Safety of Drinking water: Improving approaches and methods. In: PAYMENT, P; WAITE, M.; DUFOUR, A. Introducing Parameters for the assessment of Drinking water quality. Cap. 2, London, UK: WHO 2003. p. 49-54. IWA Publishing. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/9241546301_chap2.pdf. Acesso em: 14 de Julho de 2013.

WHO. World Health Organization. *Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum*. v. 1. Recommendations. 3 ed. Genebra: WHO, 2006a. 595 p. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf. Acesso em: 20 de Maio de 2013.

WHO. *Guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater*. Wastewater and Excreta Use in Aquaculture, WHO, Unep, Genebra, Suíça: WHO, 2006b.

WHO – World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: incorporating first and second addenda to third edition. v.1, 2008, 45 p. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf. Acesso em: 02 de Maio de 2013.

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