

Universidade de Passo Fundo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Infraestrutura e Meio Ambiente

**Vinícius Scortegagna**

**Contribuições para o estabelecimento de padrões para águas de  
reúso através da análise de risco**

Passo Fundo

2011

**Vinícius Scortegagna**

**Contribuições para o estabelecimento de padrões para águas de reúso através da análise de risco**

Orientadora: Professora Vera Maria Cartana Fernandes, Dr<sup>a</sup>

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de Concentração Infraestrutura e Meio Ambiente.

Passo Fundo

2011

**Vinícius Scortegagna**

**Contribuições para o estabelecimento de padrões para águas de reúso através da análise de risco**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de Concentração Infraestrutura e Meio Ambiente.

Data de aprovação: Passo Fundo, 25 de maio de 2011.

Os membros componentes da Banca Examinadora abaixo aprovam a Dissertação.

**BANCA EXAMINADORA**

Vera Maria Cartana Fernandes, Doutora.

Orientadora

Lúcia Helena de Oliveira, Doutora.

Universidade de São Paulo – USP

Juan José Mascaró, Doutor.

Universidade de Passo Fundo – RS

Luciana Londero Brandli, Doutora.

Universidade de Passo Fundo – RS

Passo Fundo

2011

## RESUMO

No Brasil ainda prevalece uma cultura de desperdício em relação à água, o que ocorre principalmente pelo conceito errôneo de que as reservas hídricas são inesgotáveis. Na busca por meios de conter a demanda por água, programas de uso racional e conscientização dos usuários e da implementação da cobrança pelo uso deste insumo, além do aumento da oferta através da adoção de sistemas de reúso de água, são as soluções que vêm sendo foco da atenção dos pesquisadores. Diante da expansão da prática do reúso surgem as questões de saúde pública, uma vez que garantir a segurança dos usuários deste insumo é de fundamental importância. A motivação para realização da pesquisa está em colaborar para o estabelecimento de padrões de reúso seguro de água cinza a partir da aplicação de metodologias de análise de risco, assistindo aos tomadores de decisão em julgamentos referentes aos níveis de aceitação de poluentes presentes nas águas de reúso de acordo como o uso proposto. Para realização das análises foram utilizadas a Análise Preliminar de Perigo (APP) e o processo analítico de hierarquização. As metodologias foram aplicadas criando-se um cenário de risco para a prática do reúso. Identificaram-se os parâmetros a serem levantados, de modo a contemplar as análises de risco, são eles: Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, Escherichia coli, Turbidez e Sólidos Suspensos. Foram elencados parâmetros microbiológicos, pois são os principais agentes causadores de doenças de veiculação hídrica e os físicos em função do aspecto visual da água de reúso, pois são indutores de reprovação por parte dos usuários. Para a APP a escala de risco vai de um a cinco, sendo um para desprezível e cinco para crítico. Foram contempladas 42 hipóteses de exposição do usuário aos contaminantes elencados. Como resultado da APP dezoito foram consideradas de risco cinco (crítico), uma risco quatro (sério), nove risco três (moderado) e treze risco um (desprezível). A aplicação do processo analítico hierárquico apontou como melhor opção o reúso de água cinza em instalações de combate a incêndio e rega de jardim, uma vez que contemplam o menor risco de contaminação ou prejuízo para o usuário e o maior volume utilizado configurando economia de água. Como fonte mais promissora de água cinza, o efluente proveniente de áreas de serviço foi o que apresentou os melhores resultados nas análises em função do volume gerado e da qualidade do efluente.

Palavras-chave: Reúso de água, análise de risco, saúde dos usuários, reúso seguro.

## ABSTRACT

In Brazil still prevails a culture of waste in relation to water, this is mainly due to the misconception that the water reserves are infinite. The search for ways to curb water demand, through programs of rational use, programs to make users aware of the value of the water and by the implementation of charging for the use of this substance, beyond the increasing of the supply through the adoption of water reuse systems, are the solutions that became researchers center of attention. Considering the expansion of the practice of reusing, questions of public health appear, since ensuring the safety of users of this substance is an aspect of fundamental importance. The research motivation is to collaborate to setting standards for safe reuse of "gray water", from the application of methodologies of risk analysis, assisting decision makers in judgments in regard to acceptable levels of pollutants existents on reuse water, according to the proposed use. To perform the analysis was used the Preliminary Hazard Analysis (PHA) and the analytic hierarchy process. Methods were applied by creating a risk scenario to the reuse practice. Parameters to be raised were identified, in order to contemplate the analysis of risk, they are: Total coliforms, Fecal coliforms, Escherichia coli, Suspended Solids and Turbidity. Microbiological parameters were listed because they are the main causative agents of waterborne diseases; physical parameters were also listed in function of the visual aspect of reuse water, because they are inducers of disapproval from the part of users. For the PHA the risk scale goes from one to five, number one intend negligible and five intend critical. Were covered 42 cases of exposure of the user to the listed contaminants, as a result of PHA, nineteen were considered at risk five (critical), one risk four (seriously), nine risk three (moderate) and thirteen risk one (negligible). The application of analytic hierarchy process showed as the best option to reuse gray water on installations of fire combat fire and on garden watering, since they contemplate the lower risk of contamination or injury to the user, and used the largest volume, becoming a water economy. As the most promising source of gray water the effluent from the service areas were the effluents that showed the best results on the analysis, based on the volume generated and the quality of the effluent.

Keywords: water reuse, risk analysis, health of the users, safe reuse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - As correntes do esgoto doméstico .....	24
Figura 02 - Caminhão para transporte de água de reúso .....	25
Figura 03 - Caminhão para transporte de água de reúso devidamente sinalizado.....	26
Figura 04 - Matriz de classificação de risco .....	59
Figura 05 - Estruturação hierárquica do problema .....	65
Figura 06 - Metodologia da pesquisa .....	68
Figura 07 - Aparelhos que contribuem com água cinza em cada ambiente .....	75
Figura 08 - Valores máximos encontrados para coliformes totais (NMP/100 mL) .....	79
Figura 09 - Valores máximos encontrados para coliformes termotolerantes (NMP/100mL)..	80
Figura 10 - Valores máximos encontrados para Escherichia coli .....	81
Figura 11 - Valores máximos encontrados para turbidez (UNT) .....	81
Figura 12 - Valores máximos encontrados para sólidos suspensos (mg/L) .....	82
Figura 13 - Usos e fontes do sistema da edificação hipotética.....	84
Figura 14 - Matriz de classificação de risco .....	88
Figura 15 - Síntese dos resultados da APP .....	91
Figura 16 - Hierarquização para definição do uso da água não potável.....	92
Figura 17 - Cálculo do resultado final .....	97
Figura 18 - Hierarquização para definição da fonte mais promissora de água não potável.....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Desagregação da água em uma residência .....	22
Quadro 02 - Padrões de qualidade da água .....	28
Quadro 03 - Parâmetros de qualidade para balneabilidade segundo Conama 274/2000 .....	30
Quadro 04 - Alternativas para o uso de efluentes de tanques sépticos.....	31
Quadro 05 - Padrões de qualidade para água de reúso classe 01 .....	34
Quadro 06 - Padrões de qualidade para água de reúso classe 02 .....	34
Quadro 07 - Padrões de qualidade para água de reúso classe 03 .....	35
Quadro 08 - Padrões de qualidade para água de reúso classe 04 .....	36
Quadro 09 - Caracterização qualitativa da água cinza segregada .....	37
Quadro 10 - Patogênicos presentes no esgoto doméstico e as doenças causadas .....	47
Quadro 11 - Características esperadas da água em função do uso .....	49
Quadro 12 - Restrições associadas aos usos potenciais do reúso de águas .....	50
Quadro 13 - Probabilidades de ocorrência de um evento em função da condição.....	54
Quadro 14 - Magnitude da ocorrência de um evento .....	55
Quadro 15 - Classes de risco e probabilidade de ocorrência.....	56
Quadro 16 - Frequência de ocorrência dos cenários .....	58
Quadro 17 - Severidade dos perigos identificados .....	58
Quadro 18 - Escala de prioridade do método AHP .....	64
Quadro 19 - Parâmetros qualitativos tabulados em ordem cronológica (continua) .....	72
Quadro 20 - Parâmetros qualitativos tabulados em função da fonte (continua).....	76
Quadro 21 - Parâmetros qualitativos tabulados por faixas.....	79
Quadro 22 - Formas de contaminação ou prejuízo para os usuários.....	85
Quadro 23 - Possíveis causas de contaminação .....	85
Quadro 24 - Exemplos de análises qualitativas pesquisadas.....	86
Quadro 25 - Parâmetros de qualidade a classe de uso 2 da Resolução Conama 357/05.....	86
Quadro 26 - Frequências de ocorrência dos cenários utilizadas na análise.....	87
Quadro 27 - Severidade dos perigos identificados utilizadas na análise.....	87
Quadro 28 - Classificação de risco para causa A .....	89
Quadro 29 - Classificação dos eventos em função do risco .....	90
Quadro 30 - Síntese dos resultados da APP .....	91

Quadro 31 - Escala de prioridade do método AHP .....	94
Quadro 32 - Porcentagem de água utilizada em média em uma edificação.....	95
Quadro 33 - Síntese dos resultados do processo para definição do uso .....	98
Quadro 34 - Síntese dos resultados do processo para definição da fonte.....	99



## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Padrões de qualidade para águas recicladas .....	30
Tabela 02 - Exemplo de planilha utilizada na APP .....	57
Tabela 03 - Legenda da matriz de classificação de risco .....	59
Tabela 04 - Legenda da matriz de classificação de risco .....	88
Tabela 05 - Matriz de preferência à luz do critério 01 .....	95
Tabela 06 - Matriz de preferência à luz do critério 02 .....	96
Tabela 07 - Matriz de preferências .....	96
Tabela 08 - Matriz de comparação entre critérios .....	97
Tabela 09 - Vetor de preferência entre os critérios .....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analitic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Análise Preliminar de Perigo
AQR	Avaliação quantitativa de risco
Ceivap	Comitê de Integração Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CIESP	Centro das Indústrias do Estado de São Paulo
Cl. Res.	Cloro residual
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Consema	Conselho Estadual do Meio Ambiente
COP-15	Cúpula das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
E. coli	Escherichia Coli
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FTM	Tree Method
GM	Método de Geaffrion
Hazop	Hazard And Operability Studies
HIV	Human immunodeficiency virus
Infraero	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ONU	Organização das Nações Unidas
PAMR	Plano de Administração e Monitoramento de riscos

PCA	Programa de Conservação de Água
PCJ	Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí
PGRH	Planos De Gestão De Recursos Hidricos
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água
PO	Probabilidade de ocorrência
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RI	Riscos imputáveis
SABESP	Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAR	Sodium Adsorption Ratio
SDT	Sólido dissolvido total
Siwi	Stockholm International Water Institute
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
SST	Sólido suspenso total
SWTM	Surrogate Worth Trade-off Method
TDM	Trade-off Development Method
THMs	trihalometanos
USEPA	Unites States Environmental Protection Agency

## LISTA DE SIMBOLOS

$\mu\text{m}$	micrometros
$\text{CaCo}_3$	carbonato de cálcio
CF/100 mL	coliformes fecais por cem mililitros
$\text{DBO}_5$	demanda bioquímica de oxigênio
EC/100 mL	escherichia coli por cem mililitros
GRAM-negativos	bactéria com uma fina camada de polissacarídeo
$\text{m}^3/\text{dia}$	metros cúbicos por dia
mg Pt/L	miligramas de platina por litro
mg/L	miligramas por litro
mL/L	mililitros por litro
NMP/100mL	número mais provável por cem mililitros
NTU	nephelometric turbidity unit
pH	potencial hidrogeniônico
UFC/mL	unidade formadora de colônia por cem mililitro
UH	cor aparente
UNT	unidade nefelométrica de turbidez
UT	unidade de turbidez

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
	2.1 Da escassez iminente à cobrança pelo uso da água .....	16
	2.2 Aumento da oferta e redução da demanda.....	19
	2.2.1 O reúso de águas .....	21
	2.3 Critérios e padrões de qualidade da água.....	26
	2.4 Doenças de veiculação hídrica.....	38
	2.4.1 Organismos patogênicos presentes na água.....	43
	2.5 Análise de risco.....	51
	2.5.1 Análise Preliminar de Perigo (APP).....	53
	2.5.2 Análise multiobjetivo.....	60
	2.5.2.1 Processo analítico de hierarquização (AHP).....	62
3	METODOLOGIA .....	67
	3.1 Escolha das metodologias de análise de risco .....	69
	3.2 Tabulação dos parâmetros qualitativos.....	69
	3.3 Aplicação da Análise Preliminar de Perigo .....	70
	3.3.1 Definição do objeto de análise.....	70
	3.4 Aplicação do Processo Analítico de Hierarquização .....	71
4	RESULTADOS .....	72
	4.1 Tabulação dos parâmetros qualitativos de água cinza bruta.....	72
	4.2 Resultados da Análise Preliminar de Perigo.....	83
	4.3 Resultados do Processo Analítico de Hierarquização.....	92
5	CONCLUSÕES.....	101
	REFERÊNCIAS .....	104

## 1 INTRODUÇÃO

A conservação da água é, sem dúvida nenhuma, o grande desafio para o século XXI; assim, a busca por fontes alternativas torna-se imprescindível. No contexto brasileiro, por todas as limitações de ordem econômica e cultural, a busca por alternativas para solução do problema é alvo de vários estudos.

Em dezembro de 2009 realizou-se em Copenhague a Cúpula das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP-15), quando os representantes dos países presentes na capital dinamarquesa centraram as atenções na matéria da redução de emissões de gases causadores do efeito estufa. Apesar de o foco do evento estar voltado no sentido de minimizar as emissões de gases na atmosfera, abordaram-se assuntos inerentes a outros recursos, como a água. Segundo Karin Lexen, do Stockholm International Water Institute (Siwi), a água é o principal meio pelo qual os impactos da mudança climática serão sentidos pelas populações humanas e o meio ambiente. As mudanças na disponibilidade de água alocaram esse líquido no centro do futuro desenvolvimento dos processos de decisão (ENVOLVERDE, 2009).

Conforme dados da Organização Meteorológica Mundial (Oriente Médio), o ano de 2009 está entre os dez anos mais quentes desde que começaram os registros, em 1850. Também destaca os desastres relacionados à água causados pelo aquecimento global: na China foi a pior seca em cinco décadas; na África oriental a seca causou enorme escassez de alimentos; no México, a seca foi de rigorosa a excepcional em setembro e, no centro da Argentina, prejudicou em grande parte a agricultura, pecuária e recursos hídricos. (ENVOLVERDE, 2009).

No Brasil, ainda impera uma cultura de desperdício em relação à água, ocasionado principalmente pela ideia de que as reservas hídricas são muito grandes e de que a água é um bem infinito. Esse paradigma precisa ser modificado, tanto em relação à quantidade quando ao modo de utilização, uma vez que no Brasil ocorre uma distribuição desuniforme deste insumo.

A revista *Planeta Sustentável* (2009), em parceria com a Sabesp (Saneamento Básico do Estado de São Paulo), apresentou, em evento paralelo à COP-15, as iniciativas de implementação de projetos de água de reúso, destacando em especial um clube de futebol e o projeto olímpico CEU e Água, que busca formar atletas e cidadãos ambiental e socialmente comprometidos.

Essas ações da Sabesp voltadas ao reúso de água vêm ao encontro do que estabeleceu o governo federal brasileiro em abril de 1997, quando implantou o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água (PNCDA). O programa tem por objetivo geral promover o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas. (PNCDA, 2005).

De acordo com Nunes et al. (2006), para reaproveitar a água faz-se necessário estudar a demanda e oferta, bem como estabelecer critérios que guiarão as diversas alternativas de implantação de um sistema que não interfira nas atividades cotidianas da edificação e sem que esta água acarrete riscos à saúde de seus usuários.

Os sistemas de reúso ou reciclagem são uma das opções de conservação desse insumo, devendo ser contemplados dentro de um estudo de fontes alternativas de um Programa de Conservação de Água (PCA) em uma edificação. Além de promover as ações de conservação e adoção de fontes alternativas, a preocupação com a qualidade da água utilizada deve ser evidenciada, uma vez que grande parte das doenças existentes nos países subdesenvolvidos deve-se à má utilização desse recurso hídrico.

Em âmbito nacional, o principal problema de qualidade da água é o lançamento de esgoto doméstico, pois apenas 47% dos municípios brasileiros possuem rede coletora de esgoto, e somente 18% do esgoto recebem algum tratamento. Dessa forma, a carga orgânica doméstica total do país pode ser estimada em 6.389 t. DBO<sub>5</sub><sup>20</sup>/dia. (SNIS, 2007)

De acordo com Boni (2009), nos últimos anos, a gestão dos recursos hídricos vem sendo um dos maiores desafios aos governantes, sendo esse panorama uma preocupação de nível mundial. Para se evitar a escassez hídrica os países devem praticar um manejo de água mais eficiente, introduzir o reúso, impedir a poluição e promover a conservação.

Diante da expansão de fontes de abastecimento alternativas, como o caso do reúso na irrigação utilizando o efluente tratado de estações de tratamento de esgoto e do reúso de água nas edificações para fins não potáveis, vêm à tona as questões de saúde pública, uma vez que garantir a segurança dos usuários desse insumo é de fundamental importância.

Segundo Mancuso et al. (2003), os riscos à saúde humana e ao meio ambiente pertinentes ao reúso de água preocupam a sociedade por dois motivos: poluição dos recursos hídricos e limitações das técnicas de tratamento de água.

Gonçalves (2006) afirma que os riscos inerentes aos sistemas de reúso estão relacionados à presença de matéria orgânica, enxofre, nitrogênio, metais pesados e microorganismos patogênicos. Desses o último é o mais importante, uma vez que a presença de microorganismos patogênicos é o principal agente de risco à saúde humana. Os modelos de avaliação de riscos utilizam parâmetros microbiológicos no caso do reúso.

A avaliação de riscos pode ser entendida como o conjunto de metodologias que calculam e avaliam a probabilidade de um efeito adverso ser provocado por um agente (químico, físico, ou biológico), ou por um processo industrial, ou por uma tecnologia ou processo natural, que possa prejudicar a saúde humana ou o ambiente (MANCUSO et al., 2003).

Segundo Cybis (2003), pode-se conceituar análise de risco como um conjunto de técnicas e ferramentas para identificar, estimar, avaliar, monitorar e administrar os acontecimentos que colocam em risco a execução de um projeto.

A clareza do conceito metodológico mascara a complexidade da situação. Mancuso et al. (2003) acreditam que um dos maiores desafios dos gerenciadores de risco consiste em julgar os níveis de aceitação de determinado risco, decisão que envolve questões técnicas, políticas, sociais e éticas muito proeminentes. Devem-se quantificar os poluentes presentes na água e comparar com valores estabelecidos por legislação pertinente. Contudo, no caso do reúso não há legislação brasileira específica, o que justifica a elaboração deste trabalho, que busca responder à seguinte questão: A aplicação de metodologias de análise de risco no reúso de águas pode conduzir a uma garantia dos níveis de segurança adequados para a manutenção da saúde pública?

Dessa forma, o objetivo geral da pesquisa é colaborar para o estabelecimento de padrões de reúso seguro de água cinza a partir da aplicação de metodologias de análise de risco. Para alcançar o objetivo geral estabelecido foram contemplados os seguintes objetivos específicos:

- a) Pesquisar os métodos de análise de risco mais adequados para aplicação nos sistemas de reúso de águas;
- b) Tabular os parâmetros de qualidade das águas cinza;
- c) Aplicar duas das metodologias avaliadas no reúso de água cinza;



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Entre os planetas do sistema solar a Terra é o quinto maior e que proporciona condições únicas e essenciais para a existência de vida. Com seus recursos naturais, propicia a sobrevivência e desenvolvimento da população humana.

De acordo com Aguiar (2008), as interferências no sistema planetário acentuaram a preocupação com o cenário de uma crise ambiental, a qual passou a ser percebida pelas variações climáticas, pelos excessos de resíduos líquidos, sólidos e gasosos, provocando poluição.

A preocupação deveria ser focada nos “poluentes solúveis” que afetam o planeta mais do que nos “não solúveis”, visto que os resíduos sólidos insolúveis são impactantes, mas não na dimensão dos solúveis, podendo mais facilmente ser removidos. A poluição do ar se incorpora às nuvens e, ao se precipitar em forma de chuva, transfere os poluentes para a litosfera; parte dessa poluição é infiltrada contaminando o solo, as águas dos lençóis subterrâneos. Outra vertente de poluição bastante forte são os dejetos orgânicos e químicos lançados diretamente nos corpos receptores, cujos efeitos degradam o ambiente acima de sua capacidade de autodepuração. Isso tem provocado alerta em relação às condições do planeta (AGUIAR, 2008).

O crescente aumento dos níveis de contaminação dos mananciais responsáveis pelo abastecimento de água muitas vezes inviabiliza a expansão da captação de fontes existentes de água “limpa”. Dessa forma, o aumento da oferta por meio do uso de fontes alternativas de abastecimento, como o caso do reúso de águas, pode ser uma das soluções viáveis para a manutenção dos corpos hídricos, que não conseguem suprir a demanda.

### 2.1 Da escassez iminente à cobrança pelo uso da água

Tem-se hoje plena consciência de que a água doce é um recurso abundante, mas finito. O aumento da oferta através de fontes alternativas, aliado à redução da demanda, é o caminho para mitigar o problema.

Uma avaliação detalhada dos recursos hídricos, realizada pela ONU em 1997, indicou que a demanda da água cresce em velocidade duas vezes maior do que o crescimento da população, fato este é considerado por muitos um dos motivos que levarão a guerras (CHENG

apud DE PAULA, 2003). Segundo o Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, divulgado em 2003 pela ONU, o consumo de água quase dobrou nos últimos cinquenta anos e a disponibilidade dos recursos hídricos diminuiu um terço entre 1970 e 1990, em virtude da poluição ambiental e da degradação dos mananciais. Hoje mais de um bilhão de seres humanos não tem acesso a água.

O Brasil apresenta uma das mais extensas e densas redes hidrográficas do mundo, apesar dos períodos de seca dos rios do Nordeste, porém problemas como o abastecimento de água e a falta de saneamento básico afetam a disponibilidade desse insumo no país. Segundo Ilha (2008), existem vários rios no país em que a demanda alcançou 40% da oferta, o que se torna ainda mais grave quando se sabe que essa disponibilidade não é imediata, pois muitos desses rios apresentam grandes índices de poluição.

A autora destaca o consumo total de água que ocorre nas cidades. Apesar de a média nacional indicar que 69% do consumo ocorrem na irrigação, há regiões em que o consumo urbano se iguala ou ultrapassa o consumo no campo (rural+animal+irrigação). Assim, a disponibilidade de água para utilização nas cidades se constitui em grande desafio, não absolvendo o Brasil, que possui cerca de 13% da água doce superficial do mundo e 57% da América do Sul.

Em 1997, foi lançado o Programa Nacional ao Desperdício de Água com o intuito de promover a sustentabilidade hídrica do país e que tem como meio de ação coordenar as políticas e programas voltados à conservação e ao uso racional da água. Tem por objetivo a “promoção do uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços”. O programa apresenta um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais que auxiliam no seu desenvolvimento (PNCDA, 2006).

De acordo com Pacheco (2004), o governo de São Paulo, visando reduzir 20% o consumo de água na Região Metropolitana, com uma população de 18,7 milhões de pessoas, lançou em 2003 o Programa de Incentivo à Redução do Consumo de Água. Neste programa, os imóveis deveriam regular o consumo conforme a média aritmética das contas de água entre os meses de março e setembro daquele ano. Esta medida, politicamente correta, representa o primeiro passo para uma solução mais dura, como o racionamento de água.

A experiência em outros países mostra que a cobrança pelo uso de recursos hídricos, mais do que instrumento para gerar receita, é indutora de mudanças pela economia da água,

pela redução de perdas e da poluição e pela gestão com justiça ambiental. (FIESP/CIESP, 2004).

O fundamento legal para a cobrança pelo uso da água no Brasil remonta ao Código Civil de 1916, o qual estabeleceu que a utilização dos bens públicos de uso comum pode ser gratuita ou retribuída, conforme as leis da União, dos Estados e dos Municípios a cuja administração pertencer. No mesmo sentido, o Código de Águas, decreto-lei nº. 24.642/34, estabeleceu que o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, de acordo com as leis e os regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem. Finalmente, a lei nº. 9.433/97 definiu a cobrança como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, e a lei nº. 9.984/2000, que instituiu a Agência Nacional de Águas (ANA), atribuiu a esta agência a competência para implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União. O instrumento da cobrança pelo uso de recursos hídricos constitui-se num incentivador à busca de novas fontes de abastecimento, ao uso de aparelhos economizadores e à detecção das perdas físicas no sistema. O usuário que economiza água reutiliza suas águas ou se abastece de água pluvial reduz as vazões de captação e lançamento e, conseqüentemente, tem sua cobrança reduzida. Assim, quanto maior for a utilização de fontes alternativas, menor será a utilização de água e menor a cobrança. (FIESP/CIESP, 2004)

As duas primeiras propostas de cobrança apresentadas estão em operação em bacias de rios de domínio da união:

- a) Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Ceivap);
- b) Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ).

O Estado do Rio Grande do Sul ainda não implementou a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, mas existem duas propostas para rios no estado: Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria e Região Hidrográfica do Guaíba.

O Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Ceivap), instituído pelo decreto federal no 1.842, de 22 de março de 1996, e formalmente instalado em 18 de dezembro de 1997, foi o primeiro a implementar a cobrança pelo uso da água em rios de domínio da União, no ano de 2003. O Ceivap decidiu que a cobrança pelo uso da água abrangeria, inicialmente, apenas os usuários de águas federais do setor de saneamento básico e do setor industrial, que são os maiores responsáveis pela poluição do rio. À medida que os usuários passem a ser outorgados, a cobrança será expandida aos demais setores.

O Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá foi criado e instalado no ano de 1993. Os mecanismos e valores para a cobrança foram aprovados em 21 de outubro de 2005, após um ano de discussões no âmbito do Grupo de Trabalho de Cobrança, vinculado à Câmara Técnica do Plano de Bacia do Comitê PCJ. Em 28 de novembro de 2005, a cobrança foi aprovada pelo CNRH e começou a ser aplicada no ano de 2006.

O Comitê de Gerenciamento da Bacia do Rio Santa Maria foi criado com a edição do decreto estadual no 35.103, de maio de 1994, e a sua composição foi definida no decreto estadual nº 35.672, de fevereiro de 1995, alterado pelo decreto no 39.641, de julho de 1999. A Bacia do Rio Santa Maria já possui alguns instrumentos de gestão implementados, mas ainda estuda a melhor metodologia para aplicar a cobrança pelo uso da água.

Forgiarini (2006) propôs uma metodologia para avaliar a aplicabilidade da cobrança pelo uso da água na Bacia do Rio Santa Maria. O modelo genérico de cobrança proposto possui dois objetivos que nortearam a sua concepção: induzir o uso racional dos recursos hídricos; sinalizar a aceitação social dos instrumentos e da Política de Gestão dos Recursos Hídricos.

Verifica-se a iminência da implementação de cobrança, pois avalia-se que tal processo é inalterável, porém ações de preservação dos recursos hídricos devem ser ainda mais abordadas.

Analisando-se evolução dos problemas relacionados aos recursos hídricos e os esforços para gerar soluções, o planeta depara-se com uma necessidade imperativa de se buscarem fontes alternativas para suprir a demanda.

## **2.2 Aumento da oferta e redução da demanda**

Para promover o equilíbrio entre a demanda e a oferta de água, contribuindo para a sustentabilidade, ações de uso racional e busca de fontes alternativas devem ser estimuladas para uma eficiente gestão dos recursos hídricos e diminuição da poluição.

Conforme Boni (2009), as ações de uso racional devem sempre preceder a oferta de fontes alternativas, de modo a se otimizar a relação entre a demanda e a oferta nas edificações.

Dentre as opções tecnológicas que contribuem para a redução e o controle de consumo da água destacam-se:

- a) sistemas de medição setorizada do consumo da água;
- b) sistemas e componentes economizadores de água;
- c) detecção e correção de vazamentos;
- d) reúso de águas;
- e) aproveitamento de águas pluviais;
- f) reciclagem de água servida.

Os itens englobam ações de contenção de demanda e de aumento da oferta.

Segundo Boni (2009), o uso racional de água buscando redução do consumo consiste na otimização em qualidade e quantidade, focando a gestão da demanda. A autora confirma ser possível reduzir até 80% do consumo em edificações sem manutenção adequada.

Oliveira (1999), ao desenvolver uma metodologia para implantação de programa de conservação de água em edifícios, realizou um diagnóstico das condições de operação de uma escola e de um hospital. A auditoria do consumo de água nestes casos foi facilitada pela existência de um histórico de consumo. Para o hospital observou-se um consumo médio de 15.647 m<sup>3</sup>/mês entre janeiro de 1996 e janeiro de 1997; dos 1.261 pontos de utilização do edifício, 305 estavam com vazamento, fosse por gotejamento, fosse por escoamento por filete. Somando-se a perda nas válvulas de descarga, de 189 L/dia, estimou-se uma perda de aproximadamente 12.800 L/dia. Constatou-se ainda que o sistema redutor de pressão do sistema apresentava problemas e, tendo em vista a influência da pressão hidráulica nas perdas e no desempenho das peças de utilização, monitoraram-se por meio de um *data logger* as pressões de cada pavimento por um período de 24 horas. As pressões registradas foram de 100 KPa, com variações de no máximo 10 KPa para o oitavo andar, e em grande parte do período superiores a 450 KPa para o subsolo, onde se localiza a cozinha. Nesse local o consumo de água é bastante elevado, tendo como agente facilitador a pressão acima do valor recomendado pela NBR 5626 (1998), o que contribui para o aumento do consumo de água e aumento do índice de perda no sistema hidráulico.

No caso da escola, a auditoria de consumo foi implantada no período de agosto de 1996 a outubro de 1997, portanto num período de 15 meses, resultando numa média de 4118 m<sup>3</sup>/mês. A perda total de água por vazamentos visíveis foi de 1.929 L/dia e 9.936 L/dia para vazamentos não visíveis, totalizando 35m<sup>3</sup> diários ou 6,7 L/aluno/dia. Estima-se um desperdício diário de 69,5 L/aluno/dia, cerca de dez vezes o valor da perda diária total. O

consumo diário total no período apurado é de 135m<sup>3</sup>, considerando um número de agentes consumidores de 2.445 alunos. Tem-se um indicador de consumo de 81,1 L/aluno/dia; como o desperdício diário estimado é de 69,5 L/aluno/dia, o índice de desperdício diário estimado é de 85,6%. (OLIVEIRA, 1999)

Avaliando-se os dados obtidos pela autora, pode-se discorrer sob uma perspectiva voltada à eliminação de vazamentos e à implementação de manutenção adequada, visando reduzir o índice de desperdício. Os dados apresentados pela autora revelam, para este caso especificamente, que o desperdício é bastante representativo e que intervenções no sentido de adequar os sistemas, eliminar patologias e implementar manutenção rotineira resolveriam o problema.

Outros estudos foram desenvolvidos em aeroportos da região, denominados Planos De Gestão De Recursos Hídricos (PGRH), como parte constituinte do Programa de Recursos Hídricos, da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero). Esses planos têm por objetivo geral promover o uso racional da água de abastecimento nos sistemas aeroportuários sob sua administração, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, proporcionando a melhor produtividade dos ativos existentes e na implantação de sistemas eficientes nas novas unidades. (INFRAERO, 2004). Esses estudos analisaram o histórico de consumo e as condições de operação dos aparelhos hidrossanitários de vários aeroportos, propuseram e implantaram soluções para reduzir a demanda.

Há casos em que simplesmente não se pode reduzir a demanda, ou essa redução não é representativa. Nessa ótica é que as soluções começam a se encaminhar para o aumento da oferta do insumo, fomentando, dessa forma, uma redução realmente significativa no consumo de água potável.

Dentre as alternativas existentes para aumentar a oferta de água destaca-se o reúso de águas, uma vez que, de acordo com Mancuso et al. (2003), as tecnologias de tratamento que permitem a reutilização deste insumo surgem em todo o mundo como uma alternativa para diminuir a situação de escassez.

### **2.2.1 O reúso de águas**

Segundo Fiori (2005), reúso de água é a utilização dessa substância por duas ou mais vezes após tratamento. É usada com diferentes propósitos, para minimizar os impactos

causados pelo lançamento de esgotos sem tratamento nos rios. A racionalização do uso da água e o reúso poderão permitir uma solução mais sustentável. Hoje é possível reduzir os poluentes a níveis aceitáveis, tornando a água apropriada para usos específicos através de operações e processos de tratamento.

O destino da água nas residências brasileiras, cerca de 200 litros diários, é: 27% consumo (cozinhar, beber água), 25% higiene (banho, escovar os dentes), 12% lavagem de roupa; 3% outros (lavagem de carro) e, finalmente, 33% descarga de banheiro, o que mostra que tanto nas cidades como nas indústrias, se existirem duas redes de água, reusando "água cinzenta" (que são as águas resultantes de pias, tanque, chuveiro, máquina de lavar roupas e máquina de lavar louças) para descarga de bacias sanitárias, pode-se economizar um terço de toda água. (NOGUEIRA, 2003).

Conforme Wenzel (apud FIORI, 2005), um sistema de reúso de águas cinza pode economizar até 40% do total de água potável consumida em uma residência.

Concretiza-se tal ideia analisando o Quadro 01, pois, de acordo com Tomaz (2003), a água gasta na bacia sanitária, por exemplo, representa 41% do consumo em uma residência.

Quadro 01- Desagregação da água em uma residência

<b>Tipos de uso da água</b>	<b>Porcentagem</b>
Descarga na bacia sanitária	41%
Banho e lavagem de roupa	37%
Cozinha - água para beber e cozinhar	2 a 6%
Cozinha - lavagem de pratos	3 a 5%
Cozinha - Disposição de lixos	0 a 6%
Lavanderia	4%
Limpeza e arrumação geral na casa	3%
Rega de jardim com Sprinkler	3%
Lavagem de carros	1%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

Fonte: Qasim, Syed R.(apud TOMAZ, 2003)

Dessa forma, essa água pode ser utilizada com grande eficácia em:

- a) irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campo de futebol, campos de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo das vias públicas;

- b) irrigação de áreas ajardinadas ao redor de edifícios públicos, residenciais e industriais;
- c) reserva de proteção contra incêndios;
- d) controle de poeira em movimentos de terra;
- e) sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água;
- f) descarga em bacias sanitárias de banheiros públicos, em edifícios comerciais e industriais.

De acordo com Mancuso et al. (2003), de maneira geral o reúso pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não.

Em síntese dos conceitos apresentados por Boni (2009) e Mancuso et al. (2003), pode-se considerar o seguinte:

- a) reúso direto: utilização direta do efluente tratado, ou seja, o efluente não sofre nenhum processo de depuração no meio ambiente até o local do seu reúso, podendo ser utilizado para irrigação, uso industrial, recarga de aquíferos e fins potáveis;
- b) reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes, é descarregada nas águas superficiais, ocasionando processo de diluição, dispersão e autodepuração, sendo utilizada novamente a jusante.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabelece como modalidades de reúso o seguinte:

- a) reúso para fins urbanos;
- b) reúso para fins agrícolas e florestais;
- c) reúso para fins ambientais;
- d) reúso para fins industriais;
- e) reúso na aquicultura;
- f) reúso na recarga artificial de aquíferos.

Dentre os fins urbanos estabelecidos pode-se destacar o reúso doméstico. Nesta modalidade comumente se utilizam os efluentes provenientes de banho, lavagem de pratos e utensílios domésticos, área de serviço e lavatórios.

Cohim (2007) separa o esgoto doméstico de acordo com a Figura 01.



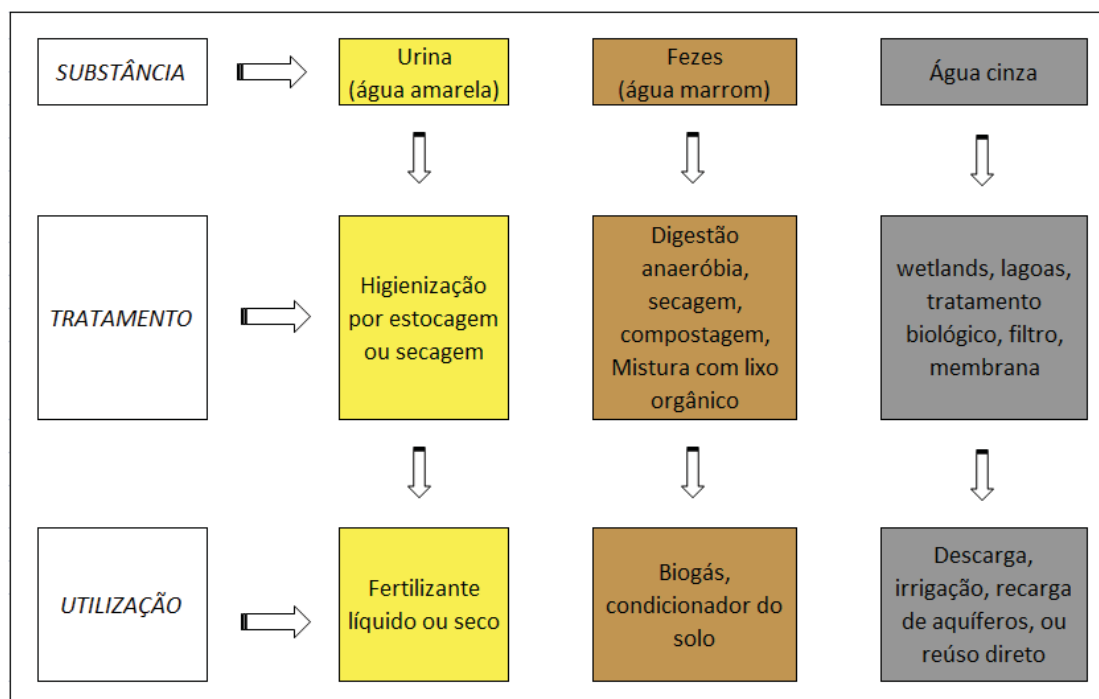


Figura 01 - As correntes do esgoto doméstico  
Fonte: Adaptado de Cohim (2007)

Ainda considerando as características dos efluentes doméstico, para Kiperstok et al. (2004), a solução aparentemente mais racional e ecoeficiente está em aproveitar cada um, utilizando suas características benéficas. Em um sistema doméstico ou condominial, por exemplo, uma solução interessante seria a separação dos efluentes de chuveiros, lavatórios e lavagem de roupas, que passariam por um tratamento biológico compacto e seriam utilizados em bacias sanitárias da própria residência ou condomínio. O efluente da bacia sanitária e o efluente de cozinha seriam direcionados para unidades de tratamento municipais descentralizadas existentes em cada bairro, e as águas recuperadas seriam reaproveitadas para regar os parques e jardins do bairro e dos condomínios. O excedente, se houver, poderia ser vendido para as propriedades agrícolas próximas como água orgânica, (contendo nutrientes orgânicos).

Um exemplo de reúso urbano pioneiro ocorreu em São Petersburgo, Flórida, onde o conselho da cidade adotou a política “descarga zero” de efluentes em 1977, e em 1978 a cidade, através de um sistema de distribuição urbano, começou a distribuir água de reúso para fins não potáveis. Hoje, São Petersburgo opera um dos maiores sistemas de reúso urbano do mundo, fornecendo água reciclada para mais de sete mil residências e escritórios. A água reciclada é rejeitada para reúso e desviada se a quantidade de cloro residual for menor que 4mg/L, a turbidez exceder 2,5 UNT, SS exceder 5 mg/L ou a concentração de cloretos exceder 600 mg/L (USEPA, 2004).

Para Fiori (2005), a qualidade da água utilizada e o fim específico do reúso instituirão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados. O reúso de água para qualquer fim depende de sua qualidade física, química e microbiológica. A maioria dos parâmetros físico-químicos de qualidade é bem compreendida, tornando possível estabelecer critérios de qualidade que sejam orientadores para o reúso.

Desde a década de 1980, a Sabesp utiliza a técnica de reúso em suas instalações para limpeza e manutenção de equipamentos. A água de reúso é produzida dentro das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e pode ser utilizada na geração de energia, refrigeração de equipamentos, processos industriais, entre outras finalidades não potáveis. São reaproveitados 780 milhões de litros de água mensalmente. Com um excedente na produção, a Sabesp estendeu a alternativa às empresas. Em 1997, a Coats Correntes Ltda. (fábrica de linhas e acessórios para costura industrial) foi a primeira a utilizar a água de reúso no seu processo industrial de tingimento de linhas de tecido. A empresa contabilizou uma economia superior a 70 mil litros de água por hora.

Seis prefeituras da Região Metropolitana de São Paulo (São Paulo, Barueri, São Caetano do Sul, Carapicuíba, Diadema e Santo André) também adquiriram o produto, que é aplicado na limpeza pública. No lugar de utilizar água potável para lavar as ruas que abrigam feiras livres, caminhões devidamente preparados seguem até as ETEs de Barueri, Parque Novo Mundo e São Miguel Paulista para se abastecer da água de reúso. Atualmente, são consumidos para essa finalidade cerca de 34 milhões de litros de água todos os meses. As Figuras 02 e 03 ilustram dois caminhões utilizados pela Sabesp para transportar água de reúso.



Figura 02 - Caminhão para transporte de água de reúso  
Fonte: [www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br)



Figura 03 - Caminhão para transporte de água de reúso devidamente sinalizado  
Fonte: Flório et al. (2002)

Outras treze empresas (construtoras) também aderiram à prática. Somadas, compram juntas cerca de 172 mil litros de água de reúso, em média, por dia desde julho de 2002 (SABESP, 2009).

### 2.3 Critérios e padrões de qualidade da água

Mancuso et al. (2003) afirmam que o conceito de qualidade é invariavelmente ligado ao uso de um bem ou serviço e que a adequação ao uso resulta da conformidade daquele bem ou serviço. Dessa forma, pode-se inferir que qualidade é sinônimo de satisfação do usuário, ou seja, um bem ou serviço de qualidade é aquele que atende às necessidades do uso a que se destina.

As definições de padrões de qualidade da água advêm desses conceitos. Mancuso, (2003) ainda frisa que esse tipo de abordagem simplifica e torna mais objetiva a avaliação, porém tem restrições. Quando se avalia a qualidade da água para consumo humano, deve-se considerar que ainda não se conhece o efeito de muitas substâncias químicas sobre a saúde, principalmente de compostos orgânicos sintéticos, ou seja, não se estabeleceram ainda padrões de potabilidade para todos os constituintes da água.

Os padrões de potabilidade da água para consumo público estão definidos na portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, que estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de

qualidade. A resolução 357/05 do Conama estabelece a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, em termos de usos possíveis com segurança adequada, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. No Rio Grande do Sul a resolução 128/2006 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (Consema) define os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras, existentes ou a serem implantadas, que lancem seus efluentes nos corpos d'água superficiais do Rio Grande do Sul. O Quadro 02 especifica esses parâmetros.

Quadro 02 - Padrões de qualidade da água

Parâmetros	Resolução CONAMA 357/05 - Classificação - Águas Doces.					Resolução 128/2006 - CONSEMA - Lançamento de efluentes	Portaria M.S 518/2004 Potabilidade
	Unid.	1	2	3	4		
Temperatura						<40	
Cor	mg Pt/L	-	75	75	-	não deve acarretar mudança	15 (uH)
Odor		VA	VA	VA	NO	livre de odor desagradável	Não Objetável
Espuma		VA	VA	VA	VA	Ausente	
Materiais Flutuantes		VA	VA	VA	VA	Ausente	
Sólidos Sedimentáveis	ml/L					< 1,0	
Sólidos Suspensos	mg/L					< 180 (para Q < 20 m <sup>3</sup> /dia)	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	500	500			
Contagem Bacteriológica	UFC/m L						< 500
pH		6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9,5
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>						500
Óleos e Graxas	mg/L	VA	VA	VA	TI	Vegetal ou animal: ≤ 30; mineral: ≤ 10	
Coliformes Termotolerantes	NMP/10 0mL	200	1000	4000		< 10 <sup>5</sup> (para Q < 100 m <sup>3</sup> /dia)	0
Coliformes Totais	NMP/10 0mL	1000	5000	20000			
Fósforo Total	mg/L					< 4,0 (para Q < 100 m <sup>3</sup> /dia)	
Surfactantes							0,5
Alcalinidade							
OD	mg/L	>6	<5	<4	<2		
Cloretos	mg/L	250	250	250			250
Nitrato	mg/L	10	10	10			10
Nitrito	mg/L	1	1	1			1
Nitrogênio Total	mg/L					< 180 (para Q < 100 m <sup>3</sup> /dia)	
Turbidez	UNT	40	100	100			5
DBO <sub>5</sub>	mg/L	3	5	10		< 180 (para Q < 20 m <sup>3</sup> /dia)	
DQO	mg/L					< 400 (para Q < 20 m <sup>3</sup> /dia)	..
VA - Virtualmente Ausente	NO - Não Objetáveis					TI - Toleram-se Iridescências	

Fonte: Resolução Conama 357/05, Resolução 128/2006 - Consema e Portaria MS 518/2004

A resolução Conama 357/05 classifica as águas doces segundo seus usos em quatro classes:

- a) **Classe Especial** – adequada a abastecimento doméstico, com simples desinfecção;
- b) **Classe 1** – adequada ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção de comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho) e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem no solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- c) **Classe 2** – adequada ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação natural (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana;
- d) **Classe 3** – adequada ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- e) **Classe 4** – adequada à navegação, harmonia paisagística e aos usos menos exigentes. O Quadro 03 apresenta a classificação das águas em função dos usos.

Os padrões microbiológicos para águas destinadas à recreação de contato primário (padrões de balneabilidade) estão definidos na resolução Conama 274/2000, promulgada em dezembro de 2000 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente. O Quadro 03 apresenta os parâmetros de qualidade para balneabilidade.

Quadro 03 - Parâmetros de qualidade para balneabilidade segundo Conama 274/2000

Balneabilidade		Padrões para corpo d'água
Própria	Excelente	Máximo de 250 CF/100 mL ou 200 EC/100 mL ou 25 enterococos/100mL em 80% ou mais das amostras das 5 semanas anteriores.
	Muito Boa	Máximo de 500 CF/100 mL ou 400 EC/100 mL ou 50 enterococos/100 mL em 80% ou mais das amostras das 5 semanas anteriores.
	Satisfatória	Máximo de 1000 CF/100 mL ou 400 EC/100 mL ou 100 enterococos/100 mL em 80% ou mais das amostras das 5 semanas anteriores.
Imprópria		a) Não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias.
		b) Incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica indicadas pelas autoridades sanitárias.
		c) Valor obtido na última amostragem for superior a 2500 CF/100 mL ou 2000 EC/100 mL ou 400 enterococos/100 mL.
		d) Presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer risco à saúde ou tornar desagradável a recreação.
		e) pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais.
		f) Floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana.
		g) Outros fatores que contraindiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

Fonte: Gonçalves, 2003

A Tabela 01 demonstra, segundo Jefferson et al. (2000), os padrões sugeridos como apropriados para utilização de águas recicladas.

Tabela 01 - Padrões de qualidade para águas recicladas

Legislação	Coliforme total / 100ml	Coliforme fecal / 100ml	DBO5 mg/l	Turbidez (UT)	Cl. res. (mg/l)	pH
USA, NSF	-	<240	45	90	-	-
USA, EPA	ND	-	10	2	1	6 - 9
Austrália	<1	<4	20	2	-	-
UK	ND	-	-	-	-	-
Japão	<10	<10	10	5	-	6 - 9
WHO	200	-	-	-	-	-
Alemanha	100	10	20	1 - 2	-	6 - 9
Padrão para água de banho*	500	100	-	-	-	6 - 9

Fonte: Jefferson et al. (2000) adaptado de Surendram; Wheatley (1998)

\* Padrão sugerido por Jefferson et al. (2000) para água de banho como própria para reciclagem doméstica

A Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT), por meio da NBR 13969:1997, propõe alternativas para tratamento e disposição dos efluentes dos tanques sépticos, incluindo alternativas para possibilitar a adequação da qualidade do efluente para as situações diversas incluindo o reúso. Classifica os efluentes em quatro classes e determina padrões para reúso, conforme o Quadro 04.

Quadro 04 - Alternativas para o uso de efluentes de tanques sépticos

	Destinação	Parâmetros contemplados	Tratamento indicado	Observações
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requirem o contato direto do usuário com a água	CF<200NMP/100ml - Sólidos dissolvidos totais <200mg/l - H de 6-8 - CI 0,5-1,5mg/l - turbidez <5	Tratamento aeróbio + filtração convencional com areia e carvão ativado + cloração	Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de canais e lagos para fins paisagísticos.	-CF,500NMP/100ml - turbidez <5 - CI > 0,5 mg/l	Tratamento aeróbio + filtro de areia e desinfecção	Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante
Classe 3	Descargas dos vasos sanitários	- Turbidez <10 - CF<500NMP/100ml	Tratamento aeróbio + cloração	As águas provenientes de máquinas de lavar satisfazem a este padrão
Classe 4	Reuso nos pomares, pastagens para gado	CF<5.000NMP/100ml OD > 2,0mg/l	Escoamento superficial	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 colheita

Fonte: ABNT – NBR 13969/97

Uma vez estabelecidos os padrões de qualidade requeridos para um determinado uso, pode-se classificar a condição em que se encontra o insumo em relação ao estabelecido. Pode-se, dessa forma, analisar o nível de risco oferecido à saúde dos usuários à medida que a qualidade efetiva da água se distancia do padrão estabelecido como aceitável para aquela finalidade.

O *Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações* da Fiesp (2005) também estabelece exigências mínimas para uso de água não potável em função do uso específico, como se segue abaixo:

A - Água para irrigação, rega de jardim, lavagem de pisos:

- a) não deve apresentar mau cheiro;
- b) não deve conter componentes que agriam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas;



- c) não deve ser abrasiva;
- d) não deve manchar superfícies;
- e) não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

B - Água para descarga em bacias sanitárias:

- a) não deve apresentar mau cheiro;
- b) não deve ser abrasiva;
- c) não deve manchar superfícies;
- d) não deve deteriorar os metais sanitários;
- e) não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

C - Água para refrigeração e sistema de ar condicionado:

- a) não deve apresentar mau cheiro;
- b) não deve ser abrasiva;
- c) não deve manchar superfícies;
- d) não deve deteriorar máquinas;
- e) não deve formar incrustações.

D - Água para lavagem de veículos:

- a) não deve apresentar mau cheiro;
- b) não deve ser abrasiva;
- c) não deve manchar superfícies;
- d) não deve conter sais ou substâncias remanescentes após secagem;
- e) não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

E - Água para lavagem de roupa:

- a) deve ser incolor;
- b) não deve ser turva;
- c) não deve apresentar mau cheiro;
- d) deve ser livre de algas;
- e) deve ser livre de partículas sólidas;
- f) deve ser livre de metais;

- g) não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos;
- h) não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

F - Água para uso ornamental:

- a) deve ser incolor;
- b) não deve ser turva;
- c) não deve apresentar mau cheiro;
- d) não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos;
- e) não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

G - Água para uso em construção civil:

- a) na preparação de argamassas, concreto, controle de poeira e compactação de solo;
- b) não deve apresentar mau cheiro;
- c) não deve alterar as características de resistência dos materiais;
- d) não deve favorecer o aparecimento de eflorescências de sais;
- e) não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

O mesmo manual (FIESP, 2005), embasado nos pré-requisitos listados para cada atividade, define quatro classes de água para reúso, com seus respectivos critérios qualitativos, de acordo com os Quadros 05, 06, 07 e 08.

Quadro 05 - Padrões de qualidade para água de reúso classe 01

Parâmetros	Concentrações
Coliformes termotolerantes <sup>1</sup>	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	≤ 10 UH
Turbidez (UT)	≤ 2,0 UT
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1,0 mg/L
DBO <sup>2</sup> (mg/L)	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis <sup>3</sup>	Ausentes
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20 mg/L
Nitrito (mg/L)	≤ 1,0 mg/L
Fósforo total <sup>4</sup> (mg/L)	≤ 0,1 mg/L
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	≤ 5,0 mg/L
Sólido dissolvido total <sup>5</sup> (SDT) (mg/L)	≤ 500 mg/L

Fonte: FIESP (2005)

Os usos preconizados para as águas desta classe nos edifícios são basicamente os seguintes:

- a) descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.);
- b) lavagem de roupas e de veículos.

Quadro 06 - Padrões de qualidade para água de reúso classe 02

Parâmetros	Concentrações
Coliformes termotolerantes	≤ 1000/mL
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1,0 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 30 mg/L
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Sólidos suspensos totais (mg/L)	30 mg/L

Fonte: FIESP (2005)

Os usos preponderantes nessa classe são associados às fases de construção de edificações:

- a) lavagem de agregados;

- b) preparação de concreto;
- c) compactação do solo;
- d) controle de poeira.

Quadro 07 - Padrões de qualidade para água de reúso classe 03

Parâmetros		Concentrações	
pH		Entre 6,0 e 9,0	
Salinidade		0,7 < EC (dS/m) < 3,0	
		450 < SDT (mg/L) < 1500	
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)	< 350 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L
	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	> 3,0
		Cloretos (mg/L)	< 100 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias	0,7 mg/L	
	Regas de jardim e similares	3,0 mg/L	
Nitrogênio total (mg/L)		5 - 30 mg/L	
DBO (mg/L)		< 20 mg/L	
Sólidos suspensos totais (mg/L)		< 20 mg/L	
Turbidez (UT)		< 5 UT	
Cor aparente (UH)		< 30 UH	
Coliformes termotolerantes (mL)		< 200/100mL	

Fonte: FIESP (2005)

O uso preponderante das águas dessa classe é na irrigação de áreas verdes e rega de jardins.

Quadro 08 - Padrões de qualidade para água de reúso classe 04

Variável (*)	Sem recirculação	Com recirculação
Sílica	50	50
Alumínio	SR	0,1
Ferro		0,5
Manganês		0,5
Amônia		1,0
Sólidos Dissolvidos Totais		1000
Cloretos	600	500
Dureza	850	650
Alcalinidade	500	350
Sólidos em Suspensão Totais	5000	100
pH	5,0 - 8,3	6,8 - 7,2
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	SR	2,2
Bicarbonato	600	24
Sulfato	680	200
Fósforo	SR	1,0
Cálcio	200	50
Magnésio	SR	30
O2 dissolvido	Presente	SR
DQO	75	75

Fonte: FIESP (2005)

O uso aconselhado para esta classe é no resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

Ainda que a água cinza não receba contribuição das bacias sanitárias, de onde provém a maior parte dos microorganismos patogênicos, a presença de consideráveis densidades de coliformes termotolerantes neste tipo de água residuária é um fato. A lavagem de roupas e alimentos fecalmente contaminados, limpeza das mãos após o uso do toalete, ou o próprio banho são algumas das prováveis fontes de contaminação (GONÇALVES, 2006).

Da mesma forma, as águas cinza, de maneira geral, apresentam turbidez e concentração de sólidos em suspensão muito elevadas. Resíduos de alimentos, cabelos e fibras de tecidos são alguns exemplos de materiais sólidos encontrados nas águas cinza de cozinha, banheiro e áreas de serviço. Esses materiais em suspensão conferem um aspecto desagradável à água cinza, além de servir de abrigo para microorganismos. (JORDÃO; PESSOA, 2005).

O Quadro 09, adaptado do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB - Edital 04), coordenado pelo professor Ricardo Franci Gonçalves, apresenta alguns dados qualitativos para alguns parâmetros físicos e microbiológicos.

Quadro 09 - Caracterização qualitativa da água cinza segregada

Referência	Fonte de água cinza	local	Parâmetros (NMP/100ml)			Parâmetros Físicos	
			Coliforme total	Coliforme Termotolerante	E. coli	Turbidez (NTU)	SST (mg/L)
Siegrist <i>et al.</i> (1976)*	MQ (lava)	EUA	85 - 8,9 x 10 <sup>5</sup>	9 - 1,6 x 10 <sup>4</sup>	-	-	280
	MQ (enxágue)		190 - 8,9 x 10 <sup>5</sup>	35 - 7,1 x 10 <sup>3</sup>	-	-	120
	CH/BH					-	120
	CZ					-	720
	MQ luça					-	440
Rose <i>et al.</i> (1991)	CH/BH	EUA	1 x 10 <sup>5</sup>	6 x 10 <sup>3</sup>	-	-	-
	MQ (lava)		199	126	-	-	-
	MQ (enxágue)		56	25	-	-	-
Hargelius <i>et al.</i> (1995)	MQ	Suécia	-	-	2,82 x 10 <sup>7</sup>	-	-
	CZ		-	-	1,60 x 10 <sup>5</sup> - 9,66 x 10 <sup>7</sup>	-	-
	BH/CZ		-	-	2,36 x 10 <sup>8</sup>	-	-
Borges (2003)	BH	Curitiba	5,1 - 1,6 x 10 <sup>8</sup>	2,0 - 1,6 x 10 <sup>7</sup>	-	2,0 - 189	-
Pesquisa UFSC (2006)	MS	Santa Catarina	2,4 x 10 <sup>3</sup> - 2,42 x 10 <sup>5</sup>		0 - 2,42 x 10 <sup>5</sup>	2 - 583	25 - 351
Pesquisa UFES (2005)	LV	Espírito Santo	1,4 x 10 <sup>2</sup> - 1,4 x 10 <sup>2</sup>	-	1,0 - 9,0 x 10 <sup>1</sup>	95 - 327	84 - 209
	CH		4,0 x 10 <sup>4</sup> - 7,3 x 10 <sup>4</sup>	-	2,4 x 10 <sup>3</sup> - 2,0 x 10 <sup>5</sup>	45 - 345	15 - 483
	TQ		1,0 - 5,8 x 10 <sup>3</sup>	-	1,0 - 2,1 x 10 <sup>3</sup>	111 - 507	68 - 756
	MQ		1,0 - 1,6 x 10 <sup>2</sup>	-	1,0 - 2,1 x 10 <sup>4</sup>	32 - 100	17 - 106
	CZ		1,0 - 1,1 x 10 <sup>6</sup>	-	1,0 - 1,9 x 10 <sup>5</sup>	60 - 750	101 - 1103
	MS		2,9 x 10 <sup>4</sup> - 1,0 x 10 <sup>5</sup>	-	1,0 x 10 <sup>4</sup> - 1,3 x 10 <sup>5</sup>	90 - 289	70 - 220
Christova-Boal <i>et al.</i> (1996)	BH	Austrália	-	-	-	60 - 240	-
	MQ		-	-	-	50 - 210	-
Almeida <i>et al.</i> (1999)	LV	Inglaterra	-	-	-		181
	CH		-	-	-		200
	BH		-	-	-		54
	MQ		-	-	-		165
	CZ		-	-	-		235
Burnat & Mahmoud (2004)	MS	Palestina	-	-	-		94 - 181

CZ - pia de cozinha; MQ - máquina de lavar roupa; TQ - tanque; LV - lavatório; CH - chuveiro; VS - vaso sanitário; MS mistura, \*(apud ERIKSSON *et al.* 2002)

Fonte: Gonçalves (2006)

Observa-se, pelas avaliações qualitativas estudadas, a contaminação potencial da água cinza, apresentando risco de contaminação de seus usuários quando reutilizada, mesmo para fins não potáveis.

## 2.4 Doenças de veiculação hídrica

Segundo a Organização Mundial de Saúde, cerca de 85% das doenças conhecidas são de veiculação hídrica, ou seja, estão relacionadas à água.

Conforme Amorim (2001), a água contaminada ou poluída causa doenças de veiculação hídrica, as quais diferem das doenças de transmissão hídrica, aquelas em que a água atua como veículo do agente infeccioso, e também de doenças de origem hídrica, causadas por substâncias químicas presentes na água em concentrações impróprias.

Dos muitos usos que a água pode ter, alguns estão mais intimamente relacionados com a saúde humana:

- a) água utilizada como bebida ou na preparação de alimentos;
- b) água utilizada no asseio corporal ou a que, por razões profissionais ou outras quaisquer, venha a ter contato direto com a pele ou mucosas do corpo humano. Ex.: trabalhadores agrícolas em cultura por inundações, lavadeiras, atividades recreativas (lagos, piscinas etc.);
- c) água empregada na manutenção da higiene do ambiente e, em especial, dos locais, instalações e utensílios usados no manuseio, preparo e ingestão de alimentos (domicílio, restaurantes, bares etc.);
- d) água utilizada na rega de hortaliças ou nos criadouros de moluscos – ostras, mariscos e mexilhões.

Observa-se que na maior parte dos casos citados o uso acidental, ou até mesmo intencional, de água não potável (reúso) pode causar prejuízos à saúde dos usuários.

Reconhece-se que o fator quantidade tem tanta ou mais importância que a qualidade na prevenção de algumas doenças. A escassez da água, dificultando a limpeza corporal e a do ambiente, permite a disseminação de enfermidades associadas à falta de higiene. Assim, a incidência de certas doenças diarreicas, do tipo shigelose, varia inversamente à quantidade de água disponível *per capita*, mesmo que essa água seja de qualidade muito boa.

Também algumas doenças cutâneas e infestações por ectoparasitos, como os piolhos, podem ser evitadas ou atenuadas onde existe conjugação de bons hábitos higiênicos e quantidade de água suficiente.

A água é um importante veículo de transmissão de doenças, notadamente do aparelho intestinal. Os microorganismos patogênicos responsáveis por essas doenças atingem a água com as excretas de pessoas ou animais infectados, tendo como consequência as denominadas “doenças de transmissão hídrica”. Em geral, os micro-organismos normalmente presentes na água podem:

- a) ter seu “habitat” normal nas águas de superfície;
- b) ter sido carregados pelas enxurradas;
- c) provir de esgotos domésticos e outros resíduos orgânicos, que atingiram a água por diversos meios;
- d) ter sido trazidos pelas chuvas na lavagem da atmosfera.

Com relação aos microorganismos patogênicos, as doenças de transmissão hídrica podem ser ocasionadas por:

- a) bactérias: febre tifoide, febres paratífoides, disenteria bacilar, cólera;
- b) protozoários: amebíase ou disenteria amebiana;
- c) vermes (helmintos) e larvas: esquistossomíase;
- d) vírus: hepatite infecciosa e poliomielite.

A Administração Regional de Saúde do Norte (ARS Norte) (2001) especifica os efeitos à saúde humana decorrentes de contaminação da água, assim como o valor permitido para cada parâmetro, os métodos possíveis para correção e a origem da contaminação.

Para bactérias coliformes o valor permitido é de 0 (zero) (N/100 mL). São bactérias patogênicas com origem no trato intestinal. A presença de quatro ou menos colônias/100 mL de bactérias coliformes, na ausência de concentrações elevadas de nitratos ou cloretos, poderá corresponder à entrada de água superficial no sistema de abastecimento. As bactérias coliformes surgem tanto nos esgotos como nas águas naturais; algumas são excretadas pelas fezes de animais e humanos, mas são capazes de se multiplicar na água e solo. As doenças causadas pelas bactérias coliformes podem incluir febre tifoide, gastroenterites virais e bacterianas e, ainda, hepatite A. Para corrigir o problema deve-se assegurar uma desinfecção eficaz.

Para *Escherichia coli* o valor permitido é de 0 (zero) (N/100 mL). Está presente no trato intestinal e em fezes de seres humanos e de animais de sangue quente. A presença de *E.*



coli na água de consumo, juntamente com níveis elevados de nitratos ou cloretos, indica habitualmente contaminação por águas residuais (por ex., de tanques sépticos). A *E. coli* produz uma toxina muito nociva, podendo causar danos graves. A infecção causa diarreia, frequentemente com presença de sangue e dores abdominais; normalmente não é acompanhada por febre. Esses sintomas são comuns a uma variedade de doenças, podendo ser devidos a outras causas além da água de consumo contaminada. Os grupos de risco são as crianças com idade inferior a cinco anos, idosos e pessoas com doenças crônicas (USEPA). A água pode ser tratada utilizando-se cloração, radiação ultravioleta, ou ozônio, tratamentos que destroem ou desativam a *E. coli*. Os sistemas que utilizam águas superficiais devem recorrer à desinfecção para garantir que toda a contaminação bacteriana seja desativada, tal como a *E. coli*.

Para Enterococos o valor permitido é de 0 (zero) (N/100 mL). A maioria das espécies pertencentes a este grupo é geralmente indicadora de poluição fecal humana. Podem ser usados como indicador da eficiência de tratamento. As doenças causadas pelos enterococos podem incluir febre tifoide, gastroenterites virais e bacterianas e, ainda, hepatite A. O processo de tratamento adequado é microfiltração, osmose inversa, ultrafiltração, ou oxidação química e desinfecção.

Os desinfetantes residuais são permitidos em concentrações variando de 0,2 a 0,6mg/L de cloro residual livre. O desinfetante residual é a quantidade de desinfetante que permanece na água após tratamento, de modo a combater eventuais contaminações futuras. Do processo de desinfecção resultam ainda subprodutos, dos quais os principais subprodutos são: trihalometanos (THMs) e ácidos cloro acéticos. Também se podem formar aldeídos e, ainda, os íons clorito e clorato. Os efeitos adversos para a saúde humana podem ser originados por duas situações: deficiência de desinfetante residual e excesso de desinfetante residual.

No primeiro caso, os efeitos adversos são os mesmos que ocorreriam na ausência de desinfecção (por exemplo, contaminação por *E. coli* ou por outros microrganismos causadores de doenças, tais como febre tifoide, disenteria, gastroenterite, hepatite A e cólera). No segundo caso, os efeitos adversos para a saúde são derivados das substâncias químicas constituintes do desinfetante. Na maioria das situações o desinfetante é composto por cloro ou seus derivados, os quais podem conferir sabor à água para consumo. A utilização de uma elevada concentração de desinfetante não é aconselhável, pois dá origem à formação de

subprodutos tóxicos, nomeadamente THMs. Como não há forma de reduzir as concentrações de cloro, o seu controle deve ser baseado no controle de sua adição.

No que diz respeito aos subprodutos da desinfecção, as estratégias básicas que podem ser adotadas para reduzir as suas concentrações são:

- a) mudar as condições do processo (incluindo a remoção de determinados compostos antes da aplicação);
- b) utilizar um desinfetante químico diferente, com uma reduzida capacidade de produção de subprodutos;
- c) utilizar desinfecção não química;
- d) remover os subprodutos antes da distribuição da água.

Observa-se que os parâmetros microbiológicos devem ser ausentes nas análises, ou seja, a presença dos agentes em qualquer concentração já é suficiente para trazer riscos à saúde.

No caso do excesso de cloro residual, observa-se que para altos índices de contaminação a adição de altas concentrações do produto não é de todo benéfica, pois ao mesmo tempo em que anula os agentes patogênicos pode gerar compostos cancerígenos.

Para Boni (2009), nos casos do reúso os microrganismos devem ser considerados de forma a garantir que a sua presença não ofereça risco expressivo para a saúde dos usuários. O controle dos microrganismos depende do monitoramento da qualidade da água através de tratamento.

A avaliação dos parâmetros microbiológicos da água de modo a prevenir doenças de veiculação hídrica é baseada em bactérias coliformes, que são divididas em coliformes totais e coliformes termotolerantes:

- a) coliformes totais: bastonetes GRAM-negativos aeróbios e anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas a 35 °C. O grupo inclui cerca de vinte espécies, dentre as quais se encontram tanto bactérias originárias do trato gastrointestinal como diversos gêneros e espécies de bactérias não entéricas. Por isso, sua contaminação na água é menos representativa;
- b) coliformes termotolerantes: têm a mesma definição dos coliformes totais, restringindo-se aos membros capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 44,5 - 45,5 °C. Essa definição objetivou

selecionar os coliformes originários do trato gastrointestinal. Sabe-se que este grupo inclui pelo menos quatro gêneros; dos quais o *Enterobacter*, o *Citrobacter* e a *Klebsiella* não são de origem fecal e o gênero *Escherichia* se multiplica no ambiente livre. Por esse motivo, a indicação de *Escherichia coli* como contaminação fecal é a mais representativa.

O índice de *Escherichia coli* é comumente usado como indicador de contaminação fecal por meio do seu teor na água cinza. Além disso, alguns vírus, como o enterovírus, podem se espalhar através das fezes contaminando a água.

Segundo Eriksson et al. (2002), protozoários, bactérias, helmintos e vírus patogênicos saem dos corpos de indivíduos infectados em suas excretas e podem ser transmitidos para outras vias de exposição do esgoto. Esses microrganismos podem ser introduzidos nas águas cinza pela descarga da bacia sanitária, higienização de bebês e crianças, troca e lavagem de fraldas, bem como lavagem de vegetais não cozidos e limpeza de carnes cruas.

Existe uma série de problemas relacionados com o reúso de águas cinza não tratadas adequadamente. O risco de propagação de doenças devido à exposição a microrganismos contidos na água é um ponto crucial se a água for reutilizada, uma vez que o contato com a mesma pode ocorrer de diversas maneiras, tais como ingestão direta e ingestão de alimentos crus e verduras irrigadas com esta água e consumidas cruas (BLUM, 2002; ERIKSSON et al., 2002).

Além disso, Eriksson et al. (2002) ressaltam que o crescimento dos microrganismos dentro do próprio sistema é outra fonte importante de proliferação de doenças.

Segundo Blum (2002), os principais critérios que direcionam um programa de reúso relacionados com a qualidade da água produzida são:

- a) o reúso não deve resultar em riscos sanitários à população;
- b) o reúso não deve ocasionar prejuízos ao meio ambiente;
- c) a fonte da água que será submetida a tratamento para posterior reúso deve ser quantitativa e qualitativamente segura;
- d) a qualidade da água deve atender às exigências relacionadas aos usos a que ela se destina.

As características da água cinza são extremamente variáveis, dependendo de alguns fatores básicos, segundo Boni (2009), tais como:

- a) qualidade da água de abastecimento;
- b) tipo de rede de distribuição;
- c) atividades realizadas.

Os elementos presentes na água variam de fonte para fonte, sendo o modo de vida, questões culturais, instalações e usos de produtos químicos variáveis representativas. Além disso, existe o risco de degradação química e biológica de componentes dentro da rede de transporte de esgoto e durante a sua reservação (BLUM, 2002).

Dessa forma, conhecer os componentes do efluente que se pretende reutilizar é de suma importância, uma vez que pessoas com sistema imunológico comprometido ficam extremamente vulneráveis a infecções, como indivíduos idosos, pessoas submetidas a cirurgias ou transplante de órgãos, portadores do vírus HIV, pessoas submetidas a tratamentos quimioterápicos.

Microorganismos patogênicos estão presentes no esgoto em concentração e frequência dependentes de alguns fatores, como o estado geral de saúde dos indivíduos de determinada população usuária de um sistema de esgoto, a presença de doenças transmissíveis, a capacidade dos agentes infecciosos resistirem fora de seus hospedeiros em condições ambientais (CROOK, 1998).

#### **2.4.1 Organismos patogênicos presentes na água**

Para Amorim (2001), a potencialidade patogênica é característica de qualquer micro-organismo, apesar de apenas algumas espécies provocarem doenças

Segundo Crook (1998), o potencial de transmissão de doenças infecciosas por meio de agentes patogênicos é o risco mais comum associado com o reúso não potável de esgoto tratado.

Os agentes infecciosos que podem estar presentes nos esgotos não tratados podem ser classificados em três grandes grupos: protozoários e helmintos, bactérias e vírus.

Crook (1998) e Amorim (2001) caracterizam os principais organismos patogênicos presentes no esgoto, conforme se descreve a seguir:

a) bactérias

São microrganismos de aproximadamente 0,2 a 10  $\mu\text{m}$  de comprimento. Como as bactérias patogênicas estão presentes nas fezes de pessoas infectadas; assim, o efluente pode conter uma grande variedade e concentração de bactérias. A bactéria patogênica mais comum encontrada no esgoto é a Salmonella, causadora da febre tifoide. Outras bactérias do esgoto não tratado são Vibrio cholera, Mycobacterium tuberculosis, Clostridium, Lepstopira e Yersinia.

Conforme destacado anteriormente, a Escherichia e o gênero Enterobacter e Klebisiela constituem o grupo dos coliformes termotolerantes, um importante indicador de contaminação fecal na água.

Uma atenção especial deve ser dada às bactérias capazes de induzir infecções externas no corpo, ou seja, infecções causadas apenas por um simples contato com as águas contaminadas, sem necessitar de ingestão, como, por exemplo, Pseudonomas aeruginosa e Staphylococcus aureus. Portanto, quando a água se destina a atividades de contato primário, como recreação, deve-se ter um cuidado maior com a presença dessas bactérias.

b) fungos

Os fungos encontrados nas águas contaminadas têm origem no solo, uma vez que os verdadeiros fungos aquáticos não se adaptam às águas poluídas. Para que os fungos se desenvolvam e se multipliquem é necessário que as águas poluídas sejam bem providas de matéria orgânica.

Os fungos podem causar micoses superficiais, micoses oculares, histoplasnose, blastomicose sul-americana, doença de Jorge Lobo etc.

c) vírus

São parasitas intracelulares que são capazes de se multiplicar apenas em células hospedeiras; seus tamanhos variam de 0,01 a 0,3  $\mu\text{m}$ . Os vírus entéricos mais representativos são: Norwalk vírus, enterovírus (polio, echo e coxsackie), reovírus, rotavírus, adenovírus, calicivirus, e vírus da hepatite A. O reovírus e o adenovírus são conhecidos por acarretarem doenças respiratórias, gastroenterites e infecções nos olhos. O Norwalk vírus e o rotavírus causam diarreia.

Para sobreviver e se multiplicar é necessário que os vírus estejam em uma célula hospedeira viva. Dessa forma, em águas contaminadas com material fecal podem ser

encontrados vírus entéricos, dos quais alguns podem se mostrar com maior resistência à cloração, induzindo a sua eliminação por adsorção.

Para Asano (1998), os vírus entéricos são os grupos mais críticos de organismos patogênicos para a saúde pública, em razão da possibilidade de infecção pela exposição em doses relativamente pequenas.

Alguns dos vírus encontrados em águas contaminadas são: calicivírus, rotavírus, adenovírus entéricos, vírus das hepatites A e E e astrovírus.

#### d) protozoários

São cistos parasitas maiores que as bactérias e variam de 2 a 60  $\mu\text{m}$ . Estes não se reproduzem no ambiente, porém são capazes de sobreviver no ambiente por muitos anos se expostos a condições ideais.

Os protozoários estão divididos em vários grupos, incluindo os esporozoários, amebas e protozoários flagelados e ciliados. Alguns são patogênicos e podem ser encontrados na água, como *Alphanizomenon flos-aquae*, *Acanthamoeba castellani*, *Anabaena flos-aquae*, *Naegleria fowleri*, *Microcystis aeruginosa*, *Schizothrix calcicola*, *Giardia lamblia* e *Entamoeba histolítica*.

As principais doenças causadas por protozoários são: amebíase, doença de chagas, malária, toxoplasmose, balantidiose etc.

Cabe advertir que a cloração não elimina os cistos, porque o processo para remoção deve ser floculação e filtração.

#### e) helmintos

*Taenia saginata*, *Ascaris lumbricoides* e *solium* são os helmintos mais comuns. Os ovos e larvas destes helmintos apresentam-se aproximadamente na faixa de 10 a 100  $\mu\text{m}$ , são resistentes ao ambiente e podem sobreviver aos métodos de tratamento. Porém, os ovos podem ser removidos por meio de procedimentos de tratamento de esgoto, como filtração, sedimentação ou lagoas de estabilização (colocar risco à saúde associado).

Algumas doenças causadas por helmintos são: Ancilostomíase, ascariíase, teníases, cisticercose, esquistossomose mansoni, enterobíase, distomíase, angiostrongilíase abdominal

## f) algas

As águas sujeitas à proliferação de algas azuis (cianofíceas) têm se mostrado danosas ao homem, podendo acarretar gastroenterite. As cianofíceas (cianobactérias) são microrganismos procariontes, cujas células costumam ficar reunidas em colônias e dependem da incidência de luz, fósforo e nitrogênio. As principais cianobactérias são microcistinas, cilindros permopsina e saxitonas.

As toxinas produzidas pelas cianobactérias apresentam efeitos nocivos à saúde por ingestão via oral, podendo ocasionar febre, dor abdominal, náuseas e vômitos. A morte devido a sua ingestão é causada por lesão hepática ou do sistema nervoso.

Boni (2009), em consulta a Blum (2002), Eriksson et al. (2002), EPA (2004), sintetizou as doenças causadas por uma série de organismos patogênicos. São mais de trinta patogênicos presentes no esgoto doméstico, conforme o Quadro 10.

Quadro 10 - Patogênicos presentes no esgoto doméstico e as doenças causadas

<b>Patogênico</b>	<b>Doença</b>
<b>Bactérias</b>	
Shigella (4 spp)	Shigelose (disenteria bacilar)
Salmonella typhi	Febre tifóide
Salmonella (1700 serótipos)	Salmonelose
Vibrio cholerae	Cólera
Escherichia coli (enteropatogênica)	Gastroenterite
Yersinia enterocolitica	Yersiniose
Leptospira (spp)	Leptospirose
Legionella	Doença do legionário
Campylobacter jejune	Gastroenterite
<b>Protozoários</b>	
Endamoeba histolytica	Amebíase (disenteria amebiana)
Giardia Lamblia	Giardiase
Balantidium coli	Balantisiase (disenteria)
Cryptosporidium	Cryptosporidíase, diarreia, febre
<b>Helmintos</b>	
Ascaris lumbricóides	Ascariase
Ancylostoma duodenale	Ancilostomíase
Necatur americanus	Necatoríase
Ancylostoma (spp)	Larva migrans cutânea ("bicho geográfico")
Strongiloides stercoralis	Strongiloidíase
Trichuris trichura	Tricuríase
Taenia (spp)	Teníase
Enterobius vermicularis	enterobíase
Echinococcus granulosus	Hydatídose
<b>Vírus</b>	
Enterovírus (72 tipos-polio, echo, coxsackie, novos enterovírus)	Gastroenterite, anomalias cardíacas, meningite, outras doenças
Vírus da Hepatite A	Hepatite infecciosa
Adenovírus (47 tipos)	Doenças respiratórias, infecções de olhos
Rotavírus (4 tipos)	Gastroenterite
Parvovírus (3 tipos)	Gastroenterite
Agente Norwalk	Diarréia, vômito, febre
Astrovírus (5 tipos)	Gastroenterite
Calicivírus (2 tipos)	Gastroenterite
Cornavírus	Gastroenterite

Fonte: Blum (2002), Eriksson et al.(2002), EPA (2004, apud BONI, 2009)



Analisando o Quadro 10, observam-se as inúmeras doenças causadas por agentes patogênicos. Aliando isso ao constante perigo de contato entre usuários e a alguma forma de contaminação por esgoto, fica evidente o risco potencial à saúde a que se referem as várias fontes bibliográficas sobre o reúso de água.

Dessa forma, alguns parâmetros de referência acerca da qualidade da água de reúso são estabelecidos por vários autores. Sautchúk et al. (2005) listam algumas premissas com relação ao uso de água não potável para diferentes finalidades e as características que o insumo deve apresentar, como se verifica no Quadro 11.

Quadro 11 - Características esperadas da água em função do uso

<b>Atividade</b>	<b>Exigência</b>
<b>Irrigação Rega de jardim Lavagem de pisos</b>	Não deve apresentar mau cheiro
	Não deve conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas
	Não deve ser abrasiva nem manchar superfícies
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana
<b>Descarga em Bacias Sanitárias</b>	Não deve apresentar mau-cheiro
	Não deve ser abrasiva nem manchar superfícies
	Não deve deteriorar os metais sanitários
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana
<b>Refrigeração e sistema de ar condicionado</b>	Não deve apresentar mau cheiro
	Não deve ser abrasiva nem manchar superfícies
	Não deve deteriorar máquinas e nem formar incrustações
<b>Lavagem de veículos</b>	Não deve apresentar mau cheiro
	não deve ser abrasiva nem manchar superfícies
	Não deve conter sais ou substâncias remanescentes após secagem
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana
<b>Água para lavagem de roupa</b>	Deve ser incolor e livre de algas
	Não deve ser turva e não deve apresentar mau cheiro
	Deve ser livre de partículas sólidas e de metais
	Não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana
<b>Água para uso ornamental</b>	Deve ser incolor
	Não deve ser turva e não deve apresentar mau cheiro
	Não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana
<b>Construção civil na preparação de argamassas, concreto, controle de poeira e compactação de solo</b>	Não deve apresentar mau cheiro
	Não deve alterar as características de resistência dos metais
	Não deve favorecer o aparecimento de eflorescências de sais
	Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana

Fonte: Sautchúk et al. (2005)

Da mesma forma que alguns padrões qualitativos básicos são exigidos, algumas restrições também são associadas a determinados usos. Algumas preocupações são destacadas por Asano (1992), conforme o Quadro 12.

Quadro 12 - Restrições associadas aos usos potenciais do reúso de águas

Potencial de Reúso de água	Restrições e Preocupações
Agricultura e irrigação	Efeitos de sais em solos e plantações. Preocupação com a saúde pública, poluição de águas superficiais e de aquíferos, aceitabilidade de colheitas e saúde pública
Irrigação e culturas	
Estufas comerciais	
Parques	
Jardins de escolas	
Separações de Autopistas	
Campos de golfe	
Cemitérios	
Cinturões verdes	
Áreas residenciais	
Reúso industrial	Corrosão, crescimento biológico e geração de resíduos, além de preocupações com a saúde pública
Resfriamento	
Alimentação de <i>boiler</i>	
Processos industriais	
Construção em larga escala	
Recarga de aquífero	Potencial toxicidade por compostos químicos e patogênicos
Recreacional e ambiental	Preocupações de saúde pública e eutrofização.
Lagos e lagoas	
Gestão de áreas alagadiças	
Aumento de vazão de córregos	
Pesqueiros	
Geração de neve	
Usos urbanos não-potáveis	Saúde pública, geração de resíduos, corrosão e crescimento biológico
Reserva de incêndio	
Condicionamento de ar	
Descarga de bacias sanitárias	
Reúso potável	Potencial toxicidade por compostos químicos, saúde pública e aceitação pública
Misturas na potabilização de água	

Fonte: Asano (1992)

Inúmeros trabalhos estabelecem premissas, requisitos e restrições para prática do reúso. O grande problema está justamente em garantir essas condições, ou de alguma forma determinar se são suficientes ou não. Mais difícil ainda é estabelecer padrões qualitativos

seguros, ou ao menos aceitáveis, para os mais diversos usos. Dessa forma, gerir os riscos atrelados à prática do reúso é de caráter fundamental.

## 2.5 Análise de risco

Feliciano Filho (2006) define risco como a medida da perda econômica e/ou danos à vida humana em função da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude de um evento indesejado. O risco pode ser definido pela equação:

$$\mathbf{R} = \mathbf{f}(\mathbf{M}, \mathbf{P}) \quad (1)$$

onde:

R – Risco;

M – Magnitude;

P – Probabilidade de ocorrência.

Na visão de Feliciano Filho (2006), o risco está associado a:

- a) possibilidade de ocorrência do evento;
- b) propriedade intrínseca da situação, ser ou coisa;
- c) o risco não pode ser controlado ou reduzido;
- d) o perigo associado ao risco pode ser gerenciado, atuando-se sobre sua frequência e/ou magnitude.

Para se entender a definição de análise de risco as respostas às seguintes questões se mostram de grande valia:

- a) o que pode ocorrer de errado?
- b) quais são as causas básicas de ocorrência?
- c) quais são as consequências?
- d) quais são as frequências de ocorrência?
- e) os riscos são toleráveis?

Uma vez definido o que é risco, cabe conceituar avaliação de riscos, como citado anteriormente. Segundo Mancuso et al. (2003), avaliação de riscos é um conjunto de

processos que calculam e avaliam a probabilidade de um evento ocorrer, provocado por um agente ou processo que possa prejudicar a saúde humana ou o ambiente.

Para Cybis (2003), análise de risco é um conjunto de técnicas e ferramentas para identificar, estimar, avaliar, monitorar e administrar os acontecimentos que colocam em risco a execução de um projeto.

O autor define as etapas a serem seguidas para analisar um risco:

Etapa 1 - Identificação dos riscos;

Etapa 2 - Projeção/ Estimativas dos riscos;

Etapa 3 - Avaliação das estimativas realizadas;

Etapa 4 – Administração dos riscos;

Etapa 5 – Monitoramento dos riscos.

Resumidamente, devem-se estimar os possíveis riscos e descrevê-los; analisar a probabilidade de ocorrer (baixa, média, alta), através de dados históricos e da intuição do analista, e avaliar o impacto e gravidade provocada pela ocorrência dos possíveis riscos.

Cybis (2003) cita a regra de Pareto: 80% dos problemas decorrem de 20% dos custos, ou seja, deve-se analisar a relação custo benefício na execução de um projeto de modo a considerar as providências necessárias para evitar a ocorrência dos riscos e minimizar suas consequências. O autor sugere a elaboração de um PAMR – Plano de Administração e Monitoramento de riscos, definindo por meio deste maneiras de controlar o projeto, de modo a evitar a ocorrência de um risco, ou minimizar suas consequências. Sugere, dessa forma, que sejam definidas maneiras para se monitorar determinado risco e efetuar coletas de informações que possam ser utilizadas em futuras análises.

Para Feliciano Filho (2006), análise de risco é um processo que visa realizar uma estimativa qualitativa ou quantitativa dos riscos, empregando-se técnicas científicas, de forma a promover a combinação das frequências com a magnitude dos eventos indesejados. Podem ser citados os seguintes processos de análise:

- a) análise do histórico de acidentes do empreendimento;
- b) análise preliminar de riscos;
- c) hazop;
- d) modos de falhas.

O autor define esses processos como os que utilizam os resultados da análise de riscos para a tomada de decisão quanto o gerenciamento de risco, através da comparação com os critérios de tolerabilidade de riscos previamente estabelecidos.

### **2.5.1 Análise Preliminar de Perigo (APP)**

Outro método muito utilizado é o da APP (Análise Preliminar de Perigo), definido por Aguiar (2008) como uma metodologia indutiva estruturada para identificar os potenciais perigos decorrentes da instalação de novas unidades e sistemas ou da própria operação da planta que opera com materiais perigosos. Este método é utilizado no presente trabalho por se demonstrar de extrema simplicidade e utilidade dentro do tema proposto.

Esta metodologia, segundo o autor, procura examinar as maneiras pelas quais o material do processo pode ser liberado de forma descontrolada, levantando, para cada um dos perigos identificados, as suas causas, os métodos de detecção disponíveis e seus efeitos. Após, é feita uma avaliação qualitativa dos riscos associados, identificando-se, dessa forma, aqueles que requerem priorização. Além disso, são sugeridas medidas preventivas e/ou mitigadoras dos riscos a fim de extinguir as causas ou reduzir suas implicações.

O Quadro 13 estabelece as taxas de falha e a condição pela qual esta falha ocorre em probabilidade.

Quadro 13 - Probabilidades de ocorrência de um evento em função da condição

<b>Condição</b>	<b>TF</b>	<b>Descrição da TF</b>
Taxa de Falha Humana (Falha Involuntária) para profissional não qualificado.	$10^{-2}$	Uma falha a cada 100 operações
Taxa de Falha Humana (Falha Involuntária) para profissional qualificado	$2 \times 10^{-3}$	Uma falha a cada 500 operações
Taxa de Falha Humana (Falha Involuntária) para profissional altamente qualificado.	$10^{-3}$	Uma falha a cada 1000 operações (Nível máximo de qualificação que pode ser atingido)
Taxa de Falha Humana com uma redundância independente para profissional não-qualificado.	$10^{-2} \times 10^{-2} = 10^{-4}$	Uma vez a cada 10.000 vezes
Taxa de Falha Humana com duas redundâncias independentes para profissionais qualificados.	$2 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-6} = < 10^{-5}$	Uma vez a cada 100.000 vezes
Taxa de Falha de Equipamentos mecânicos (Bombas, motores, etc.)	$< < 10^{-3}$	Menor do que uma vez a cada 1.000 vezes
Taxa de Falha de Equipamentos segurança (Válvulas de alívio, alarmes, etc.)	$10^{-4}$	Uma vez a cada 10.000 vezes
Taxa de Falha de Equipamentos eletrônicos	$< < 10^{-4}$	Menor do que uma vez a cada 10.000 vezes

Fonte: Feliciano Filho (2006)

No Quadro 14 são definidas a magnitude do evento e as características pertinentes à ocorrência do evento.

Quadro 14 - Magnitude da ocorrência de um evento

Magnitude	Características
<b>Desprezível</b>	Não provoca lesões e nem danos à saúde em funcionários e terceiros (não funcionários e público externo).
	Não provoca nenhum impacto ambiental ao meio ambiente.
	Não provoca danos ou provoca danos de pequena magnitude aos equipamentos, materiais e instalações.
	Não provoca parada de produção ou provoca atrasos insignificantes.
	Não provoca nenhuma alteração na qualidade do produto.
	Pode provocar insignificante repercussão entre os funcionários e terceiros dentro da propriedade e nenhuma na comunidade.
<b>Marginal</b>	Provoca lesões leves ou perturbações leves à saúde de funcionários ou terceiros quando dentro da propriedade. Nenhum dano à comunidade é notado.
	Provoca impacto leve e reversível ao meio ambiente, dentro da propriedade.
	Provoca danos de pequena magnitude aos equipamentos, materiais e instalações.
	Provoca parada de produção de curta duração.
	Provoca pequena alteração na qualidade do produto detectável ainda no processo ou pelo cliente, porém, sem danos maiores.
	Pode provocar uma repercussão significativa entre funcionários / terceiros dentro da propriedade e repercussão de pequena pouco significativa na comunidade.
<b>Crítica</b>	Provoca lesões e danos à saúde com certa gravidade em funcionários ou terceiros quando dentro da propriedade, e lesões o danos à saúde de gravidade leve em membros da comunidade. Uma ou outra morte ou lesão incapacitante pode ocorrer em pessoas dentro da
	Provoca danos severos ao meio ambiente interno à propriedade, às vezes irreversíveis, e danos de gravidade leve fora da propriedade, às vezes irreversíveis.
	Provoca danos de grande magnitude aos equipamentos, materiais e instalações da propriedade, e danos de razoável magnitude na comunidade. Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento catastrófico.
	Provoca parada de produção de longa duração.
	Provoca grandes alterações na qualidade do produto, passível de não ser detectada quando em processo.
	Pode provocar repercussão de grande magnitude entre funcionários e terceiros dentro da propriedade e repercussão significativa na comunidade.
<b>Catastrófica</b>	Podem provocar mortes, lesões graves, danos irreversíveis à saúde de funcionários, terceiros e membros da comunidade em geral.
	Podem provocar danos de grande magnitude e irreversíveis ao meio ambiente interno ou externo à propriedade.
	Podem provocar destruição total de equipamentos, materiais e instalações internamente ou externamente à propriedade.
	Pode provocar parada permanente de produção da planta ou parte significativa dela.
	Provoca grandes alterações na qualidade do produto, com grande repercussão na opinião pública. Ações indenizatórias coletivas podem ocorrer.
	Pode provocar repercussão de grande magnitude e duradoura entre funcionários e terceiros dentro da propriedade e repercussão de grande magnitude com razoável duração na comunidade.

Fonte: Feliciano Filho (2006)



Dessa forma, pode-se classificar o risco de ocorrência do evento em classes, estabelecendo-se sua probabilidade de ocorrência (PO), como se observa no Quadro 15.

Quadro 15 - Classes de risco e probabilidade de ocorrência

Classe	Denominação	PO / Ano	Descrição
A	Extremamente Remota	$PO < 10^{-4}$	Teoricamente possível, mas de ocorrência improvável ao longo da vida útil da instalação
B	Remota	$10^{-3} < PO < 10^{-4}$	Ocorrência não esperada ao longo da vida útil da instalação
C	Improvável	$10^{-2} < PO < 10^{-3}$	Baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da instalação
D	Provável	$10^{-1} < PO < 10^{-2}$	Ocorrência provável uma ou outra vez ao longo da vida útil da instalação
E	Frequente	$10^0 < PO < 10^{-1}$	Ocorrência esperada uma ou outra vez a cada 10 anos
F	Muito frequente	$PO < < 10^0$	Ocorrência esperada uma ou outra vez em cada ano
G	Rotineira	$PO < < < 10^0$	Ocorrência esperada uma ou outra vez em cada mês

Fonte: Feliciano Filho (2006)

A experiência demonstra que os acidentes mais graves normalmente ocorrem devido a causas múltiplas. Pode-se usar como exemplo a ocorrência de um incêndio, evento que depende da presença de substância inflamável (P1), de uma fonte de ignição (P2) e, adicionando-se a isso a possibilidade de falha em um equipamento de extinção (P3), tem-se:

$$\text{Probabilidade Incêndio} = P1 \times P2 \times P3... \times Pn \quad (2)$$

A mesma analogia pode ser aplicada em inúmeras áreas, alterando-se os parâmetros. Pode-se substituir, por exemplo, a probabilidade de incêndio por probabilidade de contaminação de pessoas. As variáveis poderiam ser o vazamento de uma tubulação de água não potável, a permanência de pessoas no local e o nível de contaminação desta água.

Estudos mais aprofundados e com maior nível de confiabilidade podem ser realizados para estimar um mesmo risco, como Árvore de Falhas e Diagrama de eventos.

De acordo com Aguiar (2007), a metodologia da APP pode ser empregada para sistemas em início de desenvolvimento ou na fase inicial do projeto, quando apenas os elementos básicos do sistema e os materiais estão definidos. Pode também ser usada como revisão geral de segurança de sistemas e instalações já em operação.

O uso da APP ajuda a selecionar as áreas da instalação nas quais outras técnicas mais detalhadas de análise de riscos ou de contabilidade devam ser usadas posteriormente. A APP é precursora de outras análises.

Da mesma forma que Feliciano Filho (2006), Aguiar (2007) sugere um modelo para aplicação da técnica da APP, atribuindo a um determinado evento sua frequência de ocorrência, sua severidade e o risco resultante dessa combinação. O autor sugere um modelo de planilha para realização da análise para cada evento, conforme a Tabela 02.

Tabela 02 - Exemplo de planilha utilizada na APP

Análise Preliminar de Perigo							
Subsistema:			Equipe:			Data:	
Perigo	Causas	Consequências	frequência	Severidade	Risco	Recomendações	Ref.
Todo evento acidental com potencial para causar danos, às instalações ou ao meio ambiente	As causas responsáveis pelo perigo podem envolver tanto falhas de equipamentos como falhas humanas	As consequências são os efeitos dos acidentes envolvendo: radiação térmica, sobre-pressão ou dose tóxica	A frequência é definida conforme descrito no quadro 09	A severidade é definida conforme descrito no quadro 10	O risco é definido conforme descrito na Figura 03 e na tabela 11	As recomendações propostas devem ser de caráter preventivo e/ou mitigador	

Fonte: Aguiar (2007)

Conforme sugerido pelo autor, essas planilhas seriam preenchidas pela equipe para cada possível evento potencialmente perigoso. Como base para a análise, os quadros 16 e 17 fornecem a frequência e a severidade do evento, de acordo com o julgamento da equipe.

Quadro 16 - Frequência de ocorrência dos cenários

<b>Categoria</b>	<b>Denominação</b>	<b>Faixa de Frequência (anual)</b>	<b>Descrição</b>
<b>A</b>	EXTREMAMENTE REMOTA	$f < 10^{-4}$	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação
<b>B</b>	REMOTA	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer ao longo da vida útil do processo/instalação
<b>C</b>	IMPROVÁVEL	$10^{-3} < f < 10^{-2}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação
<b>D</b>	PROVÁVEL	$10^{-2} < f < 10^{-1}$	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil do processo/ instalação
<b>E</b>	FREQUENTE	$f > 10^{-1}$	Esperado de ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/instalação.

Fonte: Aguiar (2007)

Quadro 17 - Severidade dos perigos identificados

<b>Categoria</b>	<b>Denominação</b>	<b>Descrição/Característica</b>
<b>I</b>	DESPREZÍVEL	Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente;
		Não ocorrem lesões/ mortes de funcionários, de terceiros (não funcionários) e/ ou pessoas (indústrias e comunidade); o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor;
<b>II</b>	MARGINAL	Danos leves aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ou de baixo custo de reparo);
		Lesões leves em empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade;
<b>III</b>	CRÍTICA	Danos severos aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente;
		Lesões de gravidade moderada em empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade (probabilidade remota de morte);
		Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe;
<b>IV</b>	CATASTRÓFICA	Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente (reparação lenta ou impossível);
		Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas (empregados, prestadores de serviços ou em membros da comunidade).

Fonte: Aguiar (2007)

O autor ressalta que é importante observar que cada classe de severidade e frequência deve ser adequada ao tipo do sistema e empreendimento analisado, para tornar a análise do risco mais precisa e menos subjetiva. Desta forma, utiliza-se uma matriz, indicando a frequência e a severidade dos eventos, conforme indicado na Figura 04 e na Tabela 03.

		FREQUÊNCIA				
		A	B	C	D	E
SEVERIDADE	IV	2	3	4	5	5
	III	1	2	3	4	5
	III	1	1	2	3	4
	I	1	1	1	2	3

Figura 04 - Matriz de classificação de risco  
Fonte: Aguiar (2007)

Tabela 03 - Legenda da matriz de classificação de risco

Severidade	Frequência	Risco
I Desprezível	A Extremamente Remota	1 Desprezível
II Marginal	B Remota	2 Menor
III Crítica	C Improvável	3 Moderado
IV Catastrófica	D Provável	4 Sério
	E Frequente	5 Crítico

Fonte: Aguiar (2007)

Com o auxílio da legenda (Tabela 03) procede-se à análise dos resultados pela equipe da APP, listando-se as recomendações das medidas preventivas e mitigadoras consideradas.

Vale frisar que o autor considera o tipo de empreendimento a ser analisado, ou seja, deve haver uma adequação do método para aplicação em problemas como o risco à saúde atrelado ao uso de efluentes tratados de ETEs e água cinza.

Os resultados obtidos na APP são subsídios para alimentar uma análise utilizando-se de processos multicritério de apoio à decisão, como o AHP – *Analytic Hierarchy Process*.

(processo analítico hierárquico), que permite o emprego de dados qualitativos e/ou quantitativos.

Normalmente, uma APP fornece também uma ordenação qualitativa dos cenários de acidentes identificados, a qual pode ser utilizada como um primeiro elemento na priorização das medidas propostas para redução dos riscos da instalação ou sistema analisado. Esta metodologia, segundo o autor, procura examinar as maneiras pelas quais o material do processo pode ser liberado de forma descontrolada, levantando, para cada um dos perigos identificados, as suas causas, os métodos de detecção disponíveis e seus efeitos. Após, é feita uma Avaliação Qualitativa dos Riscos Associados, identificando-se, dessa forma, aqueles que requerem priorização. Além disso, são sugeridas medidas preventivas e/ou mitigadoras dos riscos a fim de extinguir as causas ou reduzir suas implicações.

Para utilização do método é necessário definir a equipe da APP, a qual deve conter membros conhecedores e com experiência no processo analisado.

Bazzarella (2005) comenta duas formas de avaliação dos riscos relacionados à saúde:

- a) Avaliação quantitativa de risco (AQR): é utilizada quando a contagem de patógenos, a exposição da população e os dados de dose infecciosa são conhecidos. Esta avaliação permite o cálculo teórico de riscos extremamente baixos a que a comunidade está exposta com a prática do reúso.
- b) Riscos imputáveis (RI): consideram cadeias epidemiológicas, fatores físicos e sociais que afetam a probabilidade de desenvolvimento de doenças como resultado à exposição à água de reúso. A transmissão de doenças associadas com a contaminação de sistemas de reúso de água deve ser investigada mesmo quando estes sistemas incluem a desinfecção como tratamento final.

### **2.5.2 Análise multiobjetivo**

Para Brites (2008), as técnicas de análise multiobjetivo revelam-se como expressivo recurso de apoio à decisão, especialmente em problemas de interesse público. Com grande suporte em modelagem matemática, a abordagem multiobjetivo justifica-se por permitir:

- a) organizar as informações e o papel de cada participante nas etapas decisórias;

- b) demonstrar os conflitos entre os objetivos e quantificar o grau de compromisso existente entre eles;
- c) tratar cada objetivo na unidade de medida mais adequada, sem distorção.

De acordo com o autor, existem no mínimo cinquenta diferentes técnicas multicritério. Seu emprego dependerá de vários fatores, tais como a natureza do problema (discreto ou contínuo), o cenário decisório, a disponibilidade de informações, condicionantes institucionais entre outros.

Cohon e Marks (apud BRITES, 2008) classificam as técnicas de análise multiobjetivo em função da forma como o tomador de decisão as utiliza. Estas podem ser divididas em três grupos:

- a) técnicas de soluções não dominadas: método dos pesos, método das restrições, métodos multiobjetivo Simplex;
- b) técnicas de antecipação de preferências: método da função utilidade multiatributo, método da programação de compromissos, programação por metas, Electre (I, II, e III), aplicam-se principalmente no tratamento de alternativas discretas avaliadas qualitativamente, *Promethee*; AHP – *Analytic Hierarchy process* (processo analítico hierárquico);
- c) técnicas de articulação progressiva de preferências: método dos passos, SWTM (*Surrogate Worth Trade-off Method*), GM (Método de Geaffrion), TDM (*Trade-off Development Method*).

Generino (2006) estudou a utilidade da abordagem multiobjetivo como instrumento de planejamento em reúso de água no Distrito Federal. Utilizou-se de uma abordagem de antecipação de preferências, caracterizada pelo estabelecimento das preferências do decisor sobre as trocas possíveis entre os objetivos e sobre os pesos relativos desses objetivos.

Com a metodologia utilizada pelo autor obteve-se como resultado que as águas residuárias tratadas em todas as estações de tratamento não apresentam qualidade suficiente para irrigação irrestrita.

Correc et al. (200?) avaliaram o risco da degradação em sistemas de distribuição de água potável por meio de ferramentas de previsão de risco. A Análise do Modo de Falha e

Efeito (*Failure Mode and Effect Analysis* [FMEA]) e o Método da Árvore de Falhas (*Fault Tree Method* [FTM]) foram utilizados. Eles permitiram identificar e indexar todos os modos de falha possíveis, levando em conta uma análise técnica e funcional. O raciocínio quantitativo utiliza o método de avaliação multicritério, permitindo estimar o nível de risco de degradação, ou seja, saber se a instalação tende a ter alto, médio ou baixo nível de risco.

### 2.5.2.1 Processo analítico de hierarquização (AHP)

Outra técnica de análise multiobjetivo largamente utilizada é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que é um processo analítico de hierarquização desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970. É um método simples e confiável, que permite o emprego de dados qualitativos e/ou quantitativos, sendo comumente utilizado para auxiliar os processos de decisão em diversas áreas do conhecimento, como, por exemplo (JORDÃO; PEREIRA, 2006):

- a) economia/ problemas administrativos;
- b) design;
- c) arquitetura;
- d) finanças;
- e) marketing;
- f) planejamento estratégico;
- g) análise custo/benefício;
- h) análise de investimentos;
- i) avaliação de aquisições;
- j) problemas sociais (educação, medicina, direito, setor público).

Por sua simplicidade e propriedade, tem sido utilizado na área de engenharia sanitária por preencher os requisitos deste tipo de pesquisa, que trata sobre critérios de ordem quantitativa e qualitativa. A prática da tomada de decisões está atrelada à ponderação das alternativas, todas contemplando uma gama de objetivos pretendidos. O problema está em definir a alternativa que satisfaça a todos os objetivos. O objetivo gira em torno de se atingir pesos numéricos para alternativas com relação a subobjetivos e para subobjetivos com relação

a objetivos mais importantes (SAATY, 1991). O meio de estruturar logicamente os objetivos e subobjetivos do problema é a hierarquização.

Grandzol (2005) expõe que, por meio das comparações aos pares em cada nível hierárquico baseados na escala de prioridades do AHP, os participantes estabelecem pesos relativos, chamados de “prioridades”, para diferenciar a importância dos critérios.

É preciso compreender o que são os julgamentos no método criado por Saaty para usar de forma adequada a escala de prioridades. Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação entre dois elementos que possuem a mesma origem. O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado numa matriz quadrada, onde os elementos são comparados entre si. Cada julgamento representa a dominância de um elemento da coluna à esquerda sobre um elemento na linha do topo (SAATY, 1991).

A escala recomendada por Saaty (1991), mostrada no Quadro 18, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro e 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância entre esses níveis 1 e 9. Além disso, desconsiderando as comparações intercritérios, que representam 1 na escala, somente metade das verificações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se das comparações recíprocas na matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados.



Quadro 18 - Escala de prioridade do método AHP

<b>Escala de prioridade: intensidade de importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Muito Forte importância	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores	Se a atividade "I" recebe uma das designações diferentes de zero, quando comparada com a atividade "j", então "j" tem o valor recíproco quando comparada com "i"	Uma designação razoável.

Fonte: Saaty (1991)

Segundo Salomon (2003), três requisitos devem ser cumpridos para se obterem bons resultados com a utilização do método AHP:

- a) dispor de tempo para tomada de decisão;
- b) limitar as alternativas em no máximo nove;
- c) os elementos de um mesmo nível hierárquico devem ser independentes entre si.

Cumprindo-se esses requisitos, a execução do método se dá em três etapas:

- a) estruturação do modelo;
- b) realização de julgamentos;
- c) síntese dos resultados.

A Figura 05 mostra as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e subobjetivos e as alternativas que envolvem a decisão. A estrutura hierárquica forma uma árvore invertida, cuja estrutura vai descendo da meta da decisão para os critérios, subcritérios e alternativas, em sucessivos níveis (SAATY, 1991).

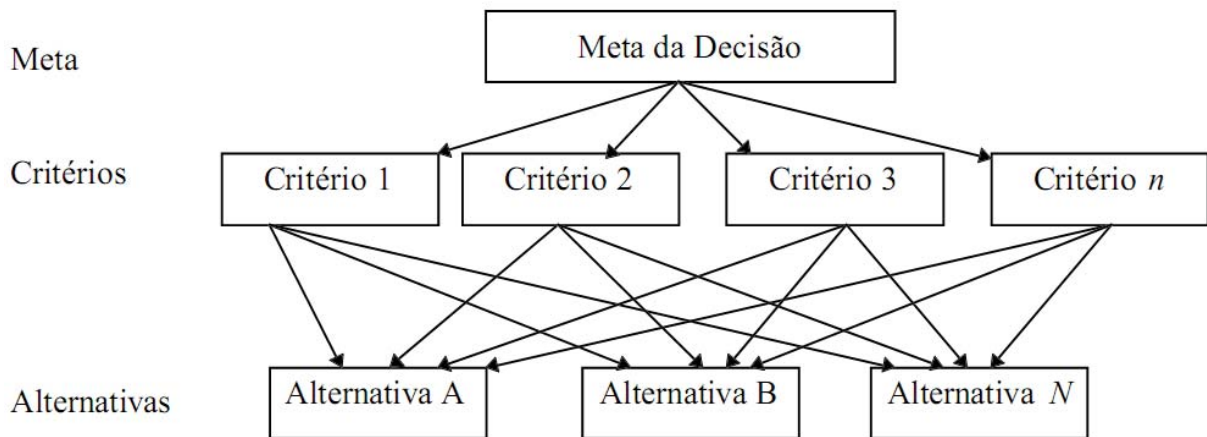


Figura 05 - Estruturação hierárquica do problema  
Fonte: Adaptado de Saaty (1991)

Após a hierarquização do problema, inicia-se a fase de julgamento com a comparação paritária, isto é, par a par, entre os critérios e entre os subcritérios. Por meio dessa comparação serão apuradas as importâncias relativas de cada critério, denominados pesos. Os critérios são comparados segundo a escala de julgamentos, descrita no Quadro 18.

Malinowski (2006) aplicou o Processo Analítico de Hierarquização (HAP) para estruturação de diretrizes para o planejamento do reúso urbano de água. A autora avaliou 52 ações de reúso de água, dentre as quais foram selecionadas nove ações como as mais interessantes para aplicação do reúso de água na área de estudo. Levaram-se em consideração a aceitabilidade por parte do público usuário, as vazões de demanda, distância entre a ETE e o usuário, densidade e engajamento de usuários, qualidade do efluente fornecido pela ETE, custos preliminares e avaliação técnica preliminar. As nove ações são listadas abaixo:

- a) reúso industrial do efluente da ETE “A”, classificado como direto, através de rede própria de distribuição e caminhões;
- b) reúso industrial do efluente da ETE “A”, classificado como direto, apenas através de rede própria de distribuição;
- c) reúso industrial do efluente da ETE “B”, classificado como direto, apenas através de caminhões;

- d) reúso industrial do efluente da ETE “B”, classificado como direto, apenas através de rede de distribuição;
- e) reúso agrícola (caminhão) e industrial (rede própria de distribuição), classificado como direto, do efluente da ETE “A”;
- f) reúso agrícola (caminhão) e industrial (rede própria de distribuição), classificado como direto, do efluente da ETE “B”;
- g) reúso predial, classificado como direto, de água cinza proveniente do chuveiro, devido ao grande volume gerado, com uso somente na descarga de bacias sanitárias, por reduzir, segundo a autora, o risco de contato direto.
- h) reúso em serviços urbanos do efluente da ETE “A”, classificado como direto, utilizando através de caminhões para combate a incêndio, lavagem de ruas e desobstrução de galerias, esta ação também prevê o reúso industrial;
- i) reúso na manutenção e melhoria da qualidade do Rio Iguaçu, classificado como indireto. O lançamento do efluente tratado favorece a manutenção da qualidade do rio.

Vale ressaltar que o efluente das ETEs citadas passaria por pós-tratamento (desinfecção) antes da utilização.

No reúso agrícola, o efluente seria utilizado para irrigação de alimentos a serem consumidos cozidos e frutas que crescem em galhos aéreos. As restrições foram estabelecidas pela opinião pública por meio de questionários.

Verifica-se, dessa forma, que este tipo de metodologia pode levar a mais de um resultado aceitável, cabendo ao tomador de decisão a tarefa de definir a melhor alternativa.

### 3 METODOLOGIA

Busca-se com o presente trabalho contribuir para prática de reúso seguro na utilização de água não potável em:

- a) descarga de bacias sanitárias;
- b) rega de jardins;
- c) lavagem de pisos;
- d) instalações de combate a incêndio.

Ou outros usos que possam, por uso inadequado dos sistemas ou por eventos acidentais, trazer prejuízo à saúde dos usuários.

Os efluentes potencialmente adequados aos usos descritos são:

Da cozinha:

- a) água cinza de pias de cozinha (após a passagem pela caixa de gordura);

Do banheiro:

- a) água cinza de chuveiros;
- b) água cinza de lavatórios;

Da Área de Serviço:

- a) água cinza de máquinas de lavar roupas;
- b) água cinza de tanques de lavar roupas.

A pesquisa alicerçou-se na definição das fontes de água não potável e nos possíveis usos para o insumo após tratamento.

A Figura 06 apresenta a metodologia para o desenvolvimento da pesquisa.

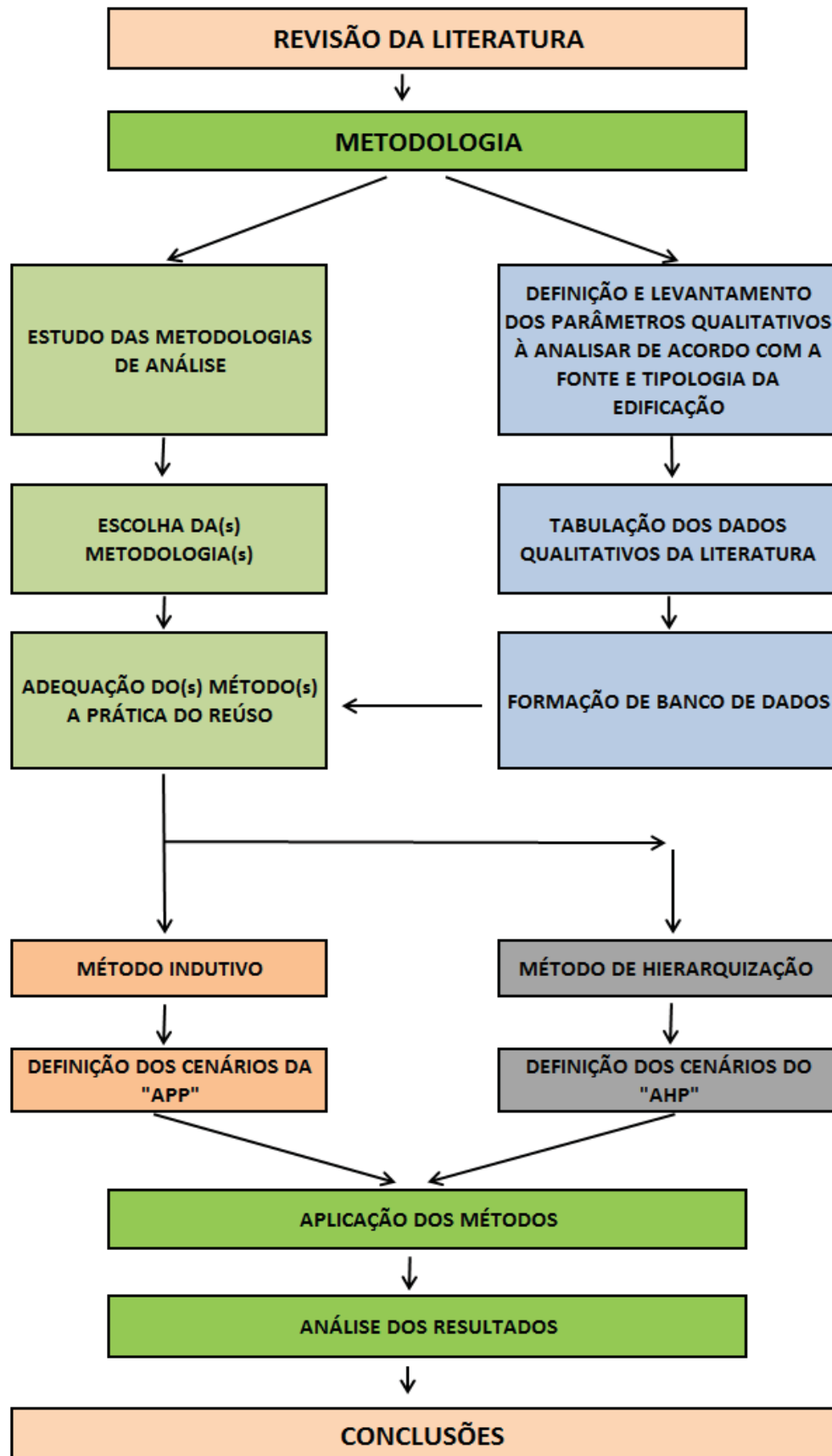


Figura 06 - Metodologia da pesquisa

Dessa forma, o trabalho é dividido em quatro etapas:

- a) escolha dos métodos de análise de risco;
- b) definição, levantamento e tabulação de parâmetros qualitativos de água cinza;
- c) aplicação das metodologias escolhidas;
- d) análise e discussão dos resultados.

### **3.1 Escolha das metodologias de análise de risco**

A escolha das metodologias foi realizada através de consulta às bibliografias existentes sobre o assunto em diversas áreas do conhecimento, elegendo-se as técnicas que melhor se adequassem às especificidades da prática do reúso.

A peculiaridade da análise está intimamente ligada ao resultado esperado, ou seja, a saída de resultados pode ser qualitativa, quando os resultados giram em torno do risco direto proveniente do reúso, ou multiobjetivo, quando os resultados apontam para a melhor ou pior alternativa dentre os vários cenários propostos. Dentro esses moldes foram escolhidas duas metodologias, cada uma atendendo aos requisitos das duas hipóteses de análise.

### **3.2 Tabulação dos parâmetros qualitativos**

Primeiramente, foram definidos quais parâmetros seriam levantados. Essa fixação se deu pela identificação dos agentes potencialmente danosos à saúde humana, associando-se, através de consulta à bibliografia, os agentes às doenças e males que podem causar.

Após a definição dos parâmetros realizaram-se a coleta de dados na literatura, triagem e tabulação de acordo com a origem do efluente.

Acreditava-se, em um primeiro momento, que seria possível homogeneizar essas informações em um único tópico; porém, após se iniciar o processo de pesquisa, percebeu-se a grande heterogeneidade quanto às fontes e tipologia das edificações. Dessa forma, a tabulação foi realizada dividindo-se a fonte de água de reúso, ou seja, a procedência de acordo com o ambiente sanitário e aparelho gerador. Essa grande tabela foi sintetizada, reduzindo-se os vários parâmetros qualitativos encontrados em faixas que vão do resultado mínimo ao máximo para cada ambiente ou aparelho analisado.

Após consulta a bibliografia identificaram-se os parâmetros pertinentes a serem levantados, os quais foram escolhidos de modo a contemplar com plenitude as análises de risco propostas, ou seja, os parâmetros tabulados fornecem subsídios para a determinação do risco a saúde dos usuários. Dessa forma, foram determinados como objeto de pesquisa os parâmetros listados abaixo:

- a) coliformes totais;
- b) coliformes termotolerantes;
- c) escherichia coli;
- d) turbidez;
- e) sólidos suspensos.

Foram elencados parâmetros microbiológicos, pois são os principais agentes causadores de doenças de veiculação hídrica nos seres humanos. Por sua vez, os parâmetros físicos escolhidos estão ligados ao aspecto visual da água de reúso e são indutores de reprovação por parte dos usuários. Por esse motivo, a análise desses parâmetros foi considerada no trabalho.

### **3.3 Aplicação da Análise Preliminar de Perigo**

Como a aplicação da metodologia visa avaliar a eficácia da mesma quando aplicada na análise do objeto do escopo do trabalho, a formação de uma equipe não foi realizada. Dessa forma, levou-se em conta a existência de conhecimento antecipado dos processos e perigos existentes através dos subsídios fornecidos pela revisão bibliográfica. De modo a simular o mais fielmente possível uma situação real, foi concebido um cenário hipotético, ou seja, uma edificação com características definidas, a qual se usará para realização da APP.

#### **3.3.1 Definição do objeto de análise**

Como uma das propostas do trabalho é aplicar a metodologia especificamente no reúso de água cinza, nesta etapa da pesquisa realizou-se uma avaliação de risco utilizando o método da APP. Tomaram-se por base os dados qualitativos levantados até o momento e criou-se um cenário hipotético para o uso da água cinza predial.

### 3.4 Aplicação do Processo Analítico de Hierarquização

Inicia-se o estudo do método AHP decompondo os elementos de um problema em camadas. Em seguida, efetuam-se as comparações binárias entre elementos de um nível em relação ao critério do nível superior, as quais determinam as prioridades entre os critérios e, finalmente, devido à síntese, as prioridades globais. Faz-se a avaliação da coerência e interpretam-se os resultados.

Por se tratar de uma metodologia que busca elencar dentre “n” alternativas a melhor opção em função de critérios a serem atendidos, a análise foi realizada de modo a definir a melhor alternativa de uso de água de reúso de maneira a atingir o objetivo da prática de reúso seguro. Este objetivo deve ser alcançado à luz de dois critérios principais, que são:

- a) o menor risco de contaminação, ou seja, níveis de segurança adequados para a prática do reúso;
- b) e o maior volume de água não potável requerido, visto que, quanto mais água de reúso for utilizada, maior será a economia de água potável na edificação.



## 4 RESULTADOS

### 4.1 Tabulação dos parâmetros qualitativos de água cinza bruta

Após as consultas realizadas na bibliografia, verificou-se a grande heterogeneidade nos dados qualitativos de água de reúso quanto à tipologia das edificações, como se pode visualizar no Quadro 19, onde os resultados estão expostos em ordem cronológica, separando o autor e a fonte de água cinza.

Quadro 19 - Parâmetros qualitativos tabulados em ordem cronológica (continua)

Parâmetros Microbiológicos e Físicos						
AUTOR	PARÂMETROS					
		Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	E. coli	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)
Siegrist et al. (1976) <sup>1</sup>	Chuveiro/banheira	70 a 8200	1 a 2500	-	-	120
	Pia de cozinha	-	-	-	-	720
	Lava-louças	-	-	-	-	440
	Máq. lavar roupas	85 a 8,9 x 10 <sup>5</sup>	9 a 1,6 x 10 <sup>4</sup>	-	-	280
Rose et al. (1991) <sup>4</sup>	Chuveiro/Banheira	1 x 10 <sup>5</sup>	6 x 10 <sup>3</sup>	-	-	-
	Máquina de lavar (lavagem)	199	126	-	-	-
	Máquina de lavar (enxágue)	56	25	-	-	-
Hargelius et al. (1995) <sup>4</sup>	Máq. lavar roupas	-	-	2,82 x 10 <sup>7</sup>	-	-
	Pia de cozinha	-	-	1,60 x 10 <sup>5</sup> - 9,66 x 10 <sup>7</sup>	-	-
	Banheiro/Cozinha	-	-	2,36 x 10 <sup>8</sup>	-	-
Christova-Boal et al. (1996)	Banheiro	-	-	-	60 a 240	-
	Maq. lavar roupas	-	-	-	50 a 210	-
Christova-Boal et al. (1998) <sup>2</sup>	Banheiro	500 a 2,4 x 10 <sup>7</sup>	170 a 3,3 x 10 <sup>3</sup>	-	60 a 240	-
	Área de Serviço	2,3 x 10 <sup>3</sup> a 3,3 x 10 <sup>5</sup>	110 a 1,09 x 10 <sup>3</sup>	-	50 a 210	-

Quadro 19 - Parâmetros qualitativos tabulados em ordem cronológica (continuação)

Parâmetros Microbiológicos e Físicos						
AUTOR	PARÂMETROS					
		Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	E. coli	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)
Almeida et al. (1999) <sup>2</sup>	Banheira	-	-	-		54
	Lavatório	-	-	-		181
	Pia de cozinha	-	-	-		235
	Chuveiro	-	-	-		200
Santos; Zabrocki (2001)	Banheiro	11 x 10 <sup>6</sup>	1 x 10 <sup>6</sup>	-	37,35	-
Ledin et al. (2001) <sup>3</sup>	-	-	10 <sup>4</sup> a 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> a 10 <sup>8</sup>	14 a 370	-
Zabrocki (2002)	Chuveiro	3,5 x 10 <sup>5</sup>	1,1 x 10 <sup>0</sup>	-	201,40	-
	Caixa sifonada	9,42 x 10 <sup>5</sup>	4 x 10 <sup>2</sup>	-	37,30	-
Eriksson et al. (2002)	Banheiro	70 a 2,4 x 10 <sup>7</sup>	1 a 6 x 10 <sup>3</sup>	-	-	-
Fonini (2003)	Banheiro	<200 a 2,3 x 10 <sup>4</sup>	-	-	0,8 a 1,3	-
Borges (2003)	Banheiro	-	-	-	2,0 a 189	-
Fonini, Fernandes e Pizzo (2004).	Chuveiro	> 1,6 x 10 <sup>5</sup>	Média: 1,3 x 10 <sup>5</sup>	presença	Média: 337,03	Média: 156
Fonini, Fernandes e Pizzo (2004).	Banheiro masculino	-	-	-	0,8	54
	Banheiro feminino	-	-	-	1,3	87
Fiori; Fernandes e Pizzo (2004)	Apartamento com crianças	1,6 x 10 <sup>6</sup>	5600	-	340	204
	Apartamento com animais	1,6 x 10 <sup>6</sup>	1,6 x 10 <sup>6</sup>	-	373	92
	Apartamento sem crianças e sem animais	ausente	ausente	-	297	150

Quadro 19 - Parâmetros qualitativos tabulados em ordem cronológica (continuação)

Parâmetros Microbiológicos e Físicos						
AUTOR	PARÂMETROS					
		Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	E. coli	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)
Jamrah et al. (2004) <sup>2</sup>	Chuveiro	-	-	-	278 a 539	180 a 410
	Serviço	-	-	-	400 a 494	120 a 665
	Pia de cozinha	-	-	-	111 a 178	285 a 925
Rapoport (2004)	Banheiro	$> 1,60 \times 10^8$	$1,60 \times 10^6$	$1,60 \times 10^6$	De 55 a 150	De 98 a 570
Burnat e Mahmoud (2004) <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	94 a 181
Fernandes (2004)	Lavatório	$1,6 \times 10^6$	$2 \times 10^4$	-	7,37	92
Fiori (2005)	Média das amostras	$3,74 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$	presença	246,49	146,60
Zabrocki (2005)	Banheiro	$1,60 \times 10^8$	$1,60 \times 10^7$	-	197	-
Bazzarella (2005)	Lavatório	$1,35 \times 10^2$	-	$1,01 \times 10^1$	158	500
	Chuveiro	$3,95 \times 10^4$	-	$2,63 \times 10^4$	109	437
	Máq. lavar roupas	$5,37 \times 10^0$	-	$2,73 \times 10^1$	58	1004
	Pia de cozinha	$1,47 \times 10^3$	-	$6,47 \times 10^2$	250	2160
	Mistura	$6,14 \times 10^4$	-	$3,25 \times 10^4$	166	1536
Philippi (2005)	Mistura	-	-	-	-	323
Pesquisa UFES (2005) <sup>4</sup>	Lavatório	$1,4 \times 10^2$ a $1,4 \times 10^2$	-	$1,0$ a $9,0 \times 10^1$	95 a 327	84 a 209
	Chuveiro	$4,0 \times 10^4$ a $7,3 \times 10^4$	-	$2,4 \times 10^3$ a $2,0 \times 10^5$	45 a 345	15 a 483
	Tanque	$1,0$ a $5,8 \times 10^3$	-	$1,0$ a $2,1 \times 10^3$	111 a 507	68 a 756
	Máq. lavar roupas	$1,0$ a $1,6 \times 10^2$	-	$1,0$ a $2,1 \times 10^4$	32 a 100	17 a 106
	Pia de cozinha	$1,0$ a $1,1 \times 10^6$	-	$1,0$ a $1,9 \times 10^5$	60 a 750	101 a 1103
	Mistura	$2,9 \times 10^4$ a $1,0 \times 10^5$	-	$1,0 \times 10^4$ a $1,3 \times 10^5$	90 a 289	70 a 220
Sautchuk et al. (2005)	-	-	Não detectável	-	$\leq 2,0$	$\leq 5,0$

Quadro 19 - Parâmetros qualitativos tabulados em ordem cronológica (conclusão)

Parâmetros Microbiológicos e Físicos						
AUTOR	PARÂMETROS					
		Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	E. coli	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)
Bazzarella (2005)	Tanque	$2,06 \times 10^2$	-	$2,87 \times 10^1$	299	1862
Pesquisa UFSC (2006) <sup>4</sup>	Mistura	$2,4 \times 10^3$ a $2,42 \times 10^5$		0 a $2,42 \times 10^5$	2 a 583	25 a 351
Peters et al. (2006)	-	-	-	$1,0 \times 10^1$ a $5,6 \times 10^5$	2,0 a 583,0	4,0 a 748,0
Magri et al. (2008)	-	$1,2 \times 10^6$	-	$4,0 \times 10^4$	-	100,4
-	Não informado					
1	Eriksson et al. (2002)					
2	Bazzarella (2005)					
3	Peters et al. (2006)					
4	PROSAB 4					

Essa grande heterogeneidade quanto às tipologias de edificações pode ser verificada analisando-se os dados pesquisados por Fiori (2005), que avaliou águas cinza provenientes de edifícios multifamiliares; Fonini (2003), que estudou águas cinza oriundas dos vestiários de um ginásio de esportes; Santos e Zabrocki (2001) e Zabrocki (2005), que caracterizaram esse insumo também em edifícios multifamiliares.

Além da variabilidade do tipo de edificação, em muitos estudos esses parâmetros estão separados de acordo com a sua origem, separando-se os dados qualitativos da água dos chuveiros, pia de cozinha, máquina de lavar roupas, lavatórios, entre outros.

Para se proceder à tabulação dos dados realizou-se a separação por fonte de água cinza, convencionando-se os aparelhos e ambientes sanitários de acordo com a Figura 07.

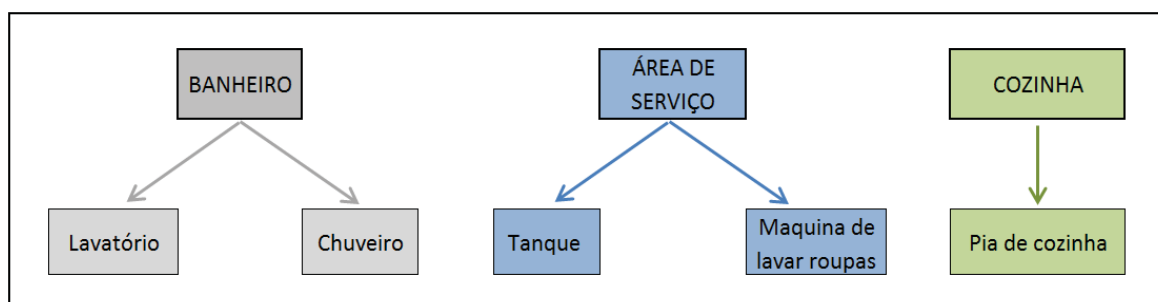


Figura 07 - Aparelhos que contribuem com água cinza em cada ambiente

É importante ressaltar que apenas os efluentes dos aparelhos citados na Figura 07 estão sendo considerados neste trabalho, uma vez que efluentes de bacias sanitárias e mictórios não devem ser, em hipótese alguma, misturados à água cinza para reúso, visto que configuram outras classes de efluentes, denominados “água negra” e “água amarela”, respectivamente.

Os parâmetros pesquisados foram classificados separando-se, por exemplo, as análises realizadas em lavatórios, chuveiros e caixas sifonadas de banheiros. Essas foram separadas das demais análises. Da mesma forma, esse arranjo foi executado para os outros ambientes sanitários, como expresso no Quadro 20.

Quadro 20 - Parâmetros qualitativos tabulados em função da fonte (continua)

<b>Parâmetros Microbiológicos e Físicos</b>					
<b>PARÂMETROS</b>					
	<b>Coliformes Totais (NMP/100mL)</b>	<b>Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)</b>	<b>E. coli</b>	<b>Turbidez (UNT)</b>	<b>SS (mg/L)</b>
Não informado	-	$10^4$ a $10^8$	$10^6$ - $10^8$	14 a 370	-
	-	-	-	-	94 a 181
	-	Não detectável	-	$\leq 2,0$	$\leq 5,0$
	-	-	$1,0 \times 10^1$ a $5,6 \times 10^5$	2,0 a 583,0	4,0 a 748,0
	$1,2 \times 10^6$	-	$4,0 \times 10^4$	-	100,4
Banheiro	-	-	-	60 a 240	-
	$500 - 2,4 \times 10^7$	$170$ a $3,3 \times 10^3$	-	60 a 240	-
	$11 \times 10^6$	$1 \times 10^6$	-	37,35	-
	$<200$ a $2,3 \times 10^4$	-	-	0,8 a 1,3	-
	-	-	-	2,0 a 189	-
	$> 1,60 \times 10^8$	$1,60 \times 10^6$	$1,60 \times 10^6$	55 a 150	98 a 570
	-	-	-	1,3	87
	-	-	-	0,8	54
	$9,42 \times 10^5$	$4 \times 10^2$	-	37,30	-
	$1,60 \times 10^8$	$1,60 \times 10^7$	-	197	-
	-	-	-	-	54
	-	-	-	-	200
	$3,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^0$	-	201,40	-
$70$ a $2,4 \times 10^7$	$1$ a $6 \times 10^3$	-	-	-	

Quadro 20 - Parâmetros qualitativos tabulados em função da fonte (continuação)

Parâmetros Microbiológicos e Físicos					
PARÂMETROS					
	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	E. coli	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)
Banheiro	$> 1,6 \times 10^5$	Média: $1,3 \times 10^5$	presença	Média: 337,03	Média: 156
	$3,95 \times 10^4$	-	$2,63 \times 10^4$	109	437
	$4,0 \times 10^4$ a $7,3 \times 10^4$	-	$2,4 \times 10^3$ a $2,0 \times 10^5$	45 a 345	15 a 483
	-	-	-	278 a 539	180 a 410
	-	-	-	-	181
	$1,6 \times 10^6$	$2 \times 10^4$	-	7,37	92
	$1,35 \times 10^2$	-	$1,01 \times 10^1$	158	500
	$1,4 \times 10^2$ a $1,4 \times 10^2$	-	$1,0$ a $9,0 \times 10^1$	95 a 327	84 a 209
	70 a 8200	1 a 2500	-	-	120
	$1 \times 10^5$	$6 \times 10^3$	-	-	-
Área de Serviço	$5,6$ a $8,9 \times 10^5$	$9$ a $1,6 \times 10^4$	-	-	-
	$2,3 \times 10^3$ a $3,3 \times 10^5$	$110$ a $1,09 \times 10^3$	-	50 a 210	-
	-	-	-	400 a 494	120 a 665
	-	-	$2,82 \times 10^7$	-	-
	-	-	-	50 a 210	-
	$5,37 \times 10^0$	-	$2,73 \times 10^1$	58	1004
	$1,0$ a $1,6 \times 10^2$	-	$1,0$ a $2,1 \times 10^4$	32 a 100	17 a 106
	56	25	-	-	-
	199	126	-	-	-
	$1,0$ a $5,8 \times 10^3$	-	$1,0$ a $2,1 \times 10^3$	111 a 507	68 a 756
$2,06 \times 10^2$	-	$2,87 \times 10^1$	299	1862	
Cozinha	-	-	-	-	720
	-	-	$1,60 \times 10^5$ a $9,66 \times 10^7$	-	-
	-	-	-	-	235
	-	-	-	-	-
	-	-	-	111 a 178	285 a 925

Quadro 20 - Parâmetros qualitativos tabulados em função da fonte (conclusão)

<b>Parâmetros Microbiológicos e Físicos</b>					
<b>PARÂMETROS</b>					
	<b>Coliformes Totais (NMP/100mL)</b>	<b>Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)</b>	<b>E. coli</b>	<b>Turbidez (UNT)</b>	<b>SS (mg/L)</b>
Cozinha	1,47 x 10 <sup>3</sup>	-	6,47 x 10 <sup>2</sup>	250	2160
	1,0 a 1,1 x 10 <sup>6</sup>	-	1,0 a 1,9 x 10 <sup>5</sup>	60 a 750	101 a 1103
	-	-	-	-	440
Mistura	6,14 x 10 <sup>4</sup>	-	3,25 x 10 <sup>4</sup>	166	1536
	-	-	-	-	323
	2,9 x 10 <sup>4</sup> a 1,0 x 10 <sup>5</sup>	-	1,0 x 10 <sup>4</sup> a 1,3 x 10 <sup>5</sup>	90 a 289	70 a 220
	2,4 x 10 <sup>3</sup> a 2,42 x 10 <sup>5</sup>	-	0 a 2,42 x 10 <sup>5</sup>	2 a 583	25 a 351
	3,74 x 10 <sup>6</sup>	2,2 x 10 <sup>5</sup>	presença	246,49	146,60
	1,6 x 10 <sup>6</sup>	1,6 x 10 <sup>6</sup>	-	373	92
	1,6 x 10 <sup>6</sup>	5600	-	340	204
	ausente	ausente	-	297	150
	-	-	2,36 x 10 <sup>8</sup>	-	-

O item “mistura” do Quadro 20 refere-se a amostras coletadas em pontos onde já ocorreu a mistura de efluentes de ambientes sanitários diferentes, ou às análises realizadas em efluentes misturados após as coletas.

Após a separação dos parâmetros de acordo com a fonte, foi possível sintetizar os resultados por faixas, ou seja, determinar os parâmetros mínimos e máximos encontrados em várias pesquisas para a mesma origem do efluente, os quais possibilitam uma melhor visualização dos resultados. Contabilizando-se os valores mínimos e máximos encontrados para o parâmetro coliformes termotolerantes em efluentes provenientes de banheiros, por exemplo, faz-se o mesmo para os demais ambientes sanitários. O Quadro 21 apresenta esses valores.

Quadro 21 - Parâmetros qualitativos tabulados por faixas

FAIXAS - Parâmetros Microbiológicos e Físicos					
PARÂMETROS					
	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	E. coli	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)
Não informado	$1,2 \times 10^6$	Não detectável a $10^8$	$1,0 \times 10^1$ a $10^8$	$\leq 2,0$ a 583,0	$\leq 5,0$ a 748,0
Banheiro	70 a $1,60 \times 10^8$	1 a $1,60 \times 10^7$	Presença a $1,60 \times 10^6$	0,80 a 539	15 a 570
Área de Serviço	1 a $8,9 \times 10^5$	9 a $1,6 \times 10^4$	1 a $10^7$	32 a 507	17 a 1862
Cozinha	1 a $2,5 \times 10^8$	-	1 a $9,66 \times 10^7$	60 a 750	101 a 2160
Mistura	ausente a $3,74 \times 10^6$	ausente a $1,6 \times 10^6$	ausente a $2,36 \times 10^8$	2 a 583	25 a 1536

Pode-se observar, após tratamento dos dados, que cada ambiente sanitário tem características qualitativas diferentes para os parâmetros analisados em função do tipo de uso.

A seguir podem-se observar os gráficos da Figura 08 à Figura 12, construídos de modo a comparar os parâmetros de cada ambiente, analisando o índice máximo de contaminação encontrado em cada ambiente sanitário.

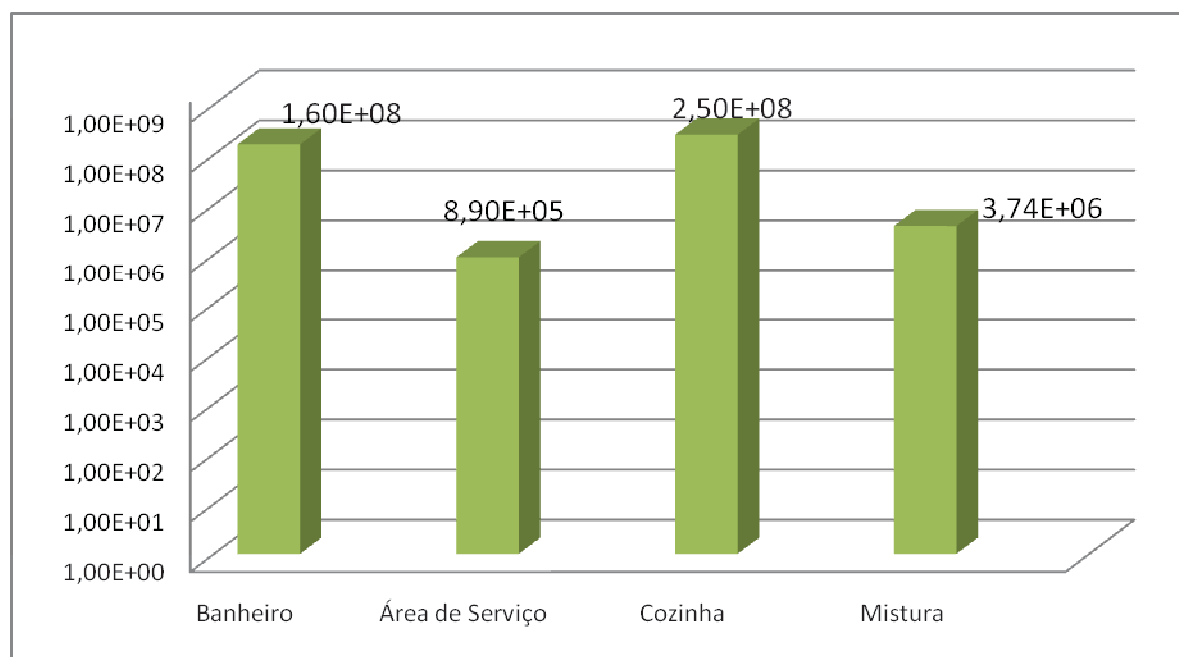


Figura 08 - Valores máximos encontrados para coliformes totais (NMP/100 mL)



Observa-se que o ambiente que apresenta o valor máximo encontrado para coliformes totais é a cozinha, seguida do banheiro, com valores praticamente iguais, e o ambiente menos contaminado é a área de serviço, sendo com relação a este parâmetro a fonte mais promissora.

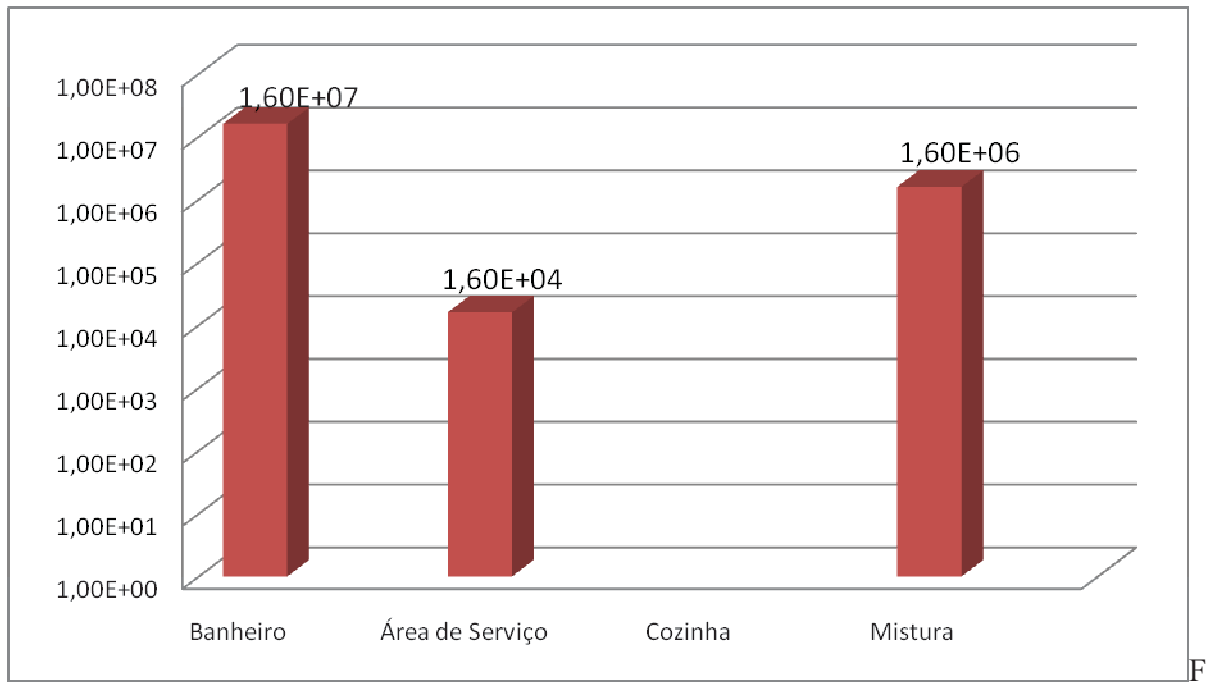


Figura 09 - Valores máximos encontrados para coliformes termotolerantes (NMP/100mL)

Novamente, a fonte que se apresenta como mais promissora com relação às análises qualitativas é a área de serviço, uma vez que não foram encontrados parâmetros para cozinha.

Para o parâmetro coliformes termotolerantes o ambiente que atingiu valor máximo foi o banheiro, uma vez que a água é utilizada neste ambiente para asseio corporal.

Vale ressaltar que nem todos os autores apresentam dados para todos os parâmetros, ou seja, para se tomar como referência quaisquer desses valores é necessária uma análise mais cautelosa.

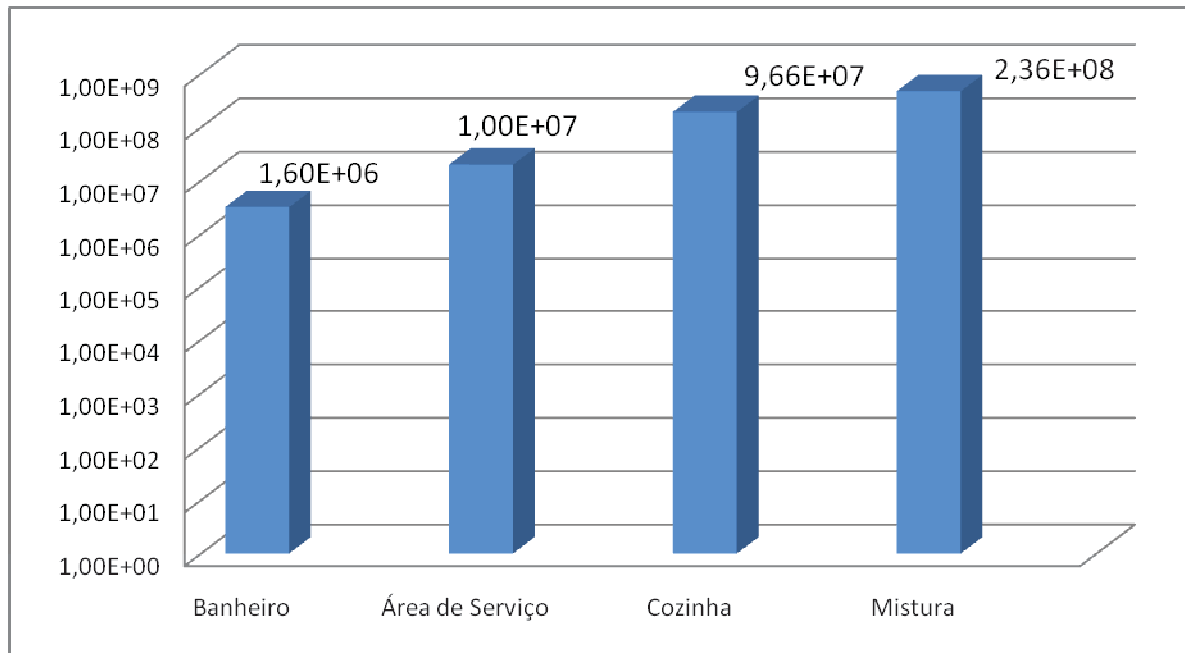


Figura 10 - Valores máximos encontrados para Escherichia coli

Para o contaminante Escherichia Coli o menor valor dentre os máximos foi encontrado na água cinza proveniente do banheiro, seguido das análises realizadas na área de serviço. Para este parâmetro a mistura de efluentes apresentou os piores resultados.

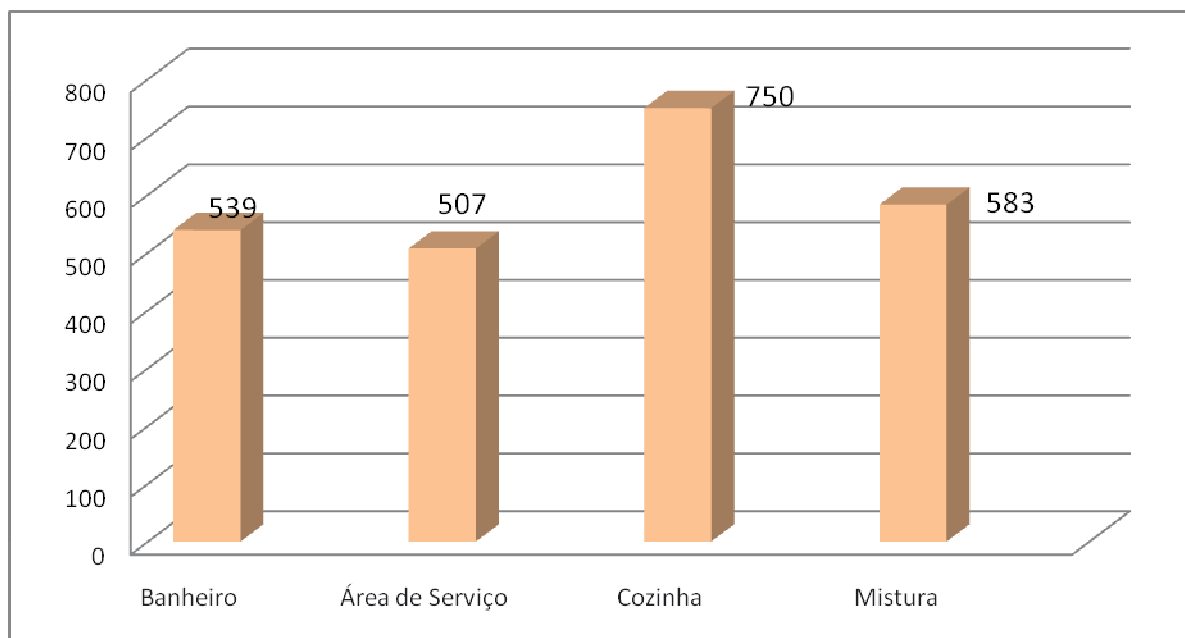


Figura 11 - Valores máximos encontrados para turbidez (UNT)

A maior turbidez foi encontrada na cozinha, uma vez que este efluente carrega gorduras e restos de alimentos resultantes da lavagem de louças e utensílios. Para este parâmetro a fonte mais promissora é novamente a área de serviço, que apresenta o menor

índice de contaminação dentre os valores máximos encontrados na pesquisa. Isso se dá em razão dos diferentes enxágues na lavagem de roupas, o primeiro com alto teor de surfactantes e espuma (em função do sabão necessário para o processo) e os demais com concentração extremamente mais baixa, configurando, dessa forma, um efluente de baixa contaminação.

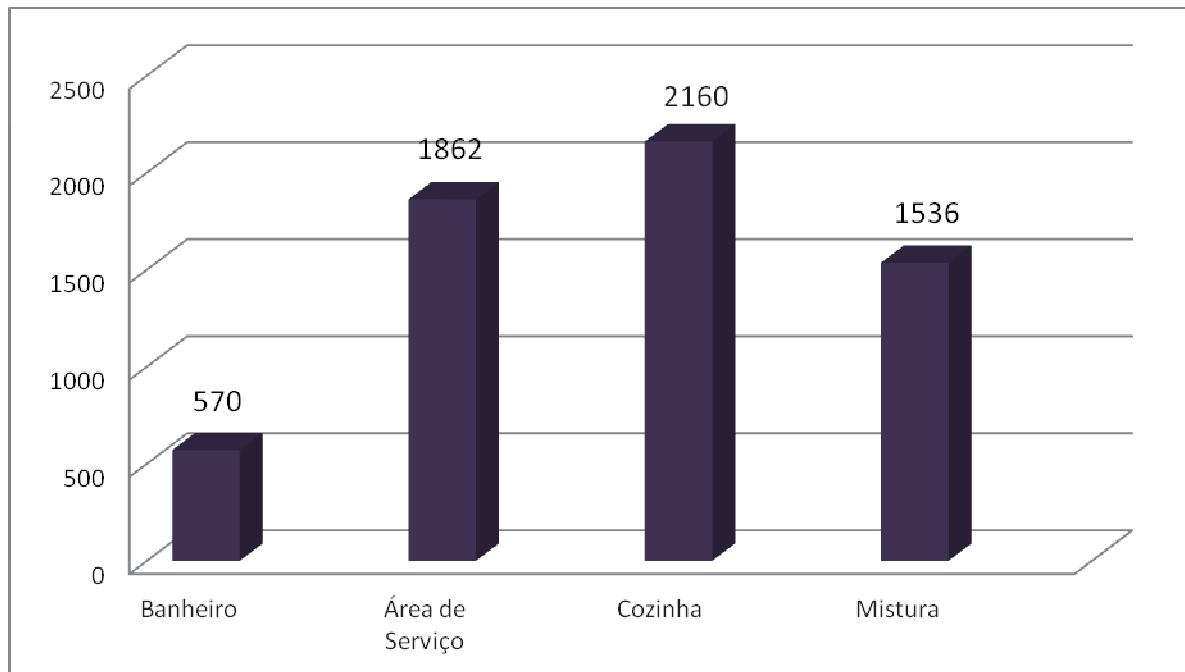


Figura 12 - Valores máximos encontrados para sólidos suspensos (mg/L)

Com relação à concentração de sólidos suspensos, o banheiro é evidenciado com os menores índices, ficando mais uma vez a cozinha com o pior resultado para o parâmetro em razão da lavagem de louças e utensílios domésticos, que adiciona gordura e restos de alimentos ao efluente. Vale ressaltar que na área de serviço esses sólidos são provenientes das roupas e que o processo de remoção é simples.

Em uma apreciação global dos parâmetros qualitativos elencados para a análise, pode-se afirmar que a água proveniente das áreas de serviço é a fonte mais promissora para prática segura de reúso de água cinza, seguida dos efluentes do banheiro. A cozinha apresentou os piores resultados dentre os valores máximos estudados. Como na pia de cozinha é realizada a lavagem de louças com grande teor de gorduras e restos de alimentos, este efluente tende a ser mais contaminado. A lavagem de roupas e a água proveniente do banho e do lavatório não apresentam tal característica, apesar de se esperar que a água do banho pudesse apresentar maiores índices de coliformes por ser utilizada na lavagem corporal.

## 4.2 Resultados da Análise Preliminar de Perigo

Para a água cinza predial o cenário hipotético foi definido como um condomínio vertical multifamiliar, com as seguintes características básicas:

- a) classe média alta;
- b) 10 pavimentos, sendo dois de garagens (total 5000 m<sup>2</sup>);
- c) playground;
- d) área ajardinada de uso comum (100 m<sup>2</sup>);
- e) piscina aberta de uso comum;
- f) sistema de combate a incêndio por hidrantes e mangotinhos;
- g) clima subtropical úmido (com quatro estações bem definidas).

A definição dessas características e da tipologia da edificação deu-se levando-se em conta a existência de locais que possibilitem o uso do insumo, além de permitir a ocorrência de possíveis cenários de risco.

Supõe-se, então, que a edificação foi concebida com as instalações sanitárias já contemplando a prática do reúso, ou seja, os efluentes gerados são separados conforme sua característica. Da mesma forma, as instalações hidráulicas são separadas em duas redes, uma para água potável e outra para não potável. O sistema é caracterizado conforme a Figura 13, que identifica as fontes e os usos do insumo para o sistema proposto.

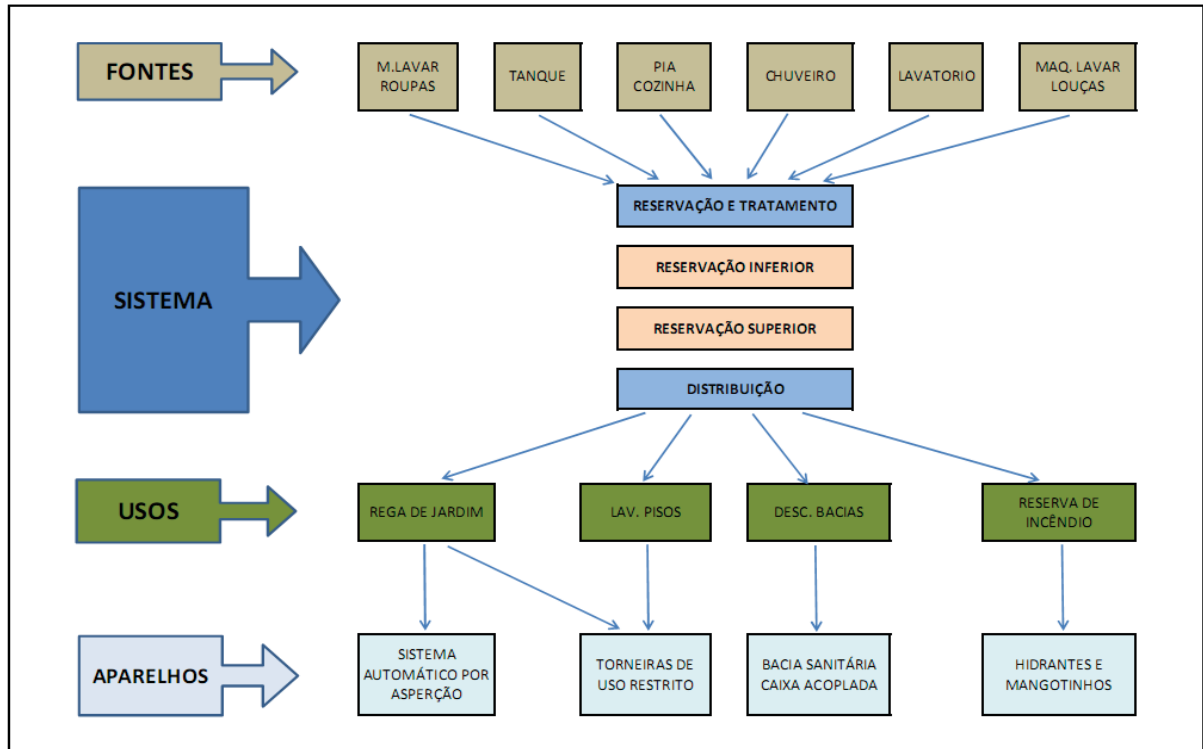


Figura 13 - Usos e fontes do sistema da edificação hipotética

Como não se pode garantir o fornecimento constante de água cinza tratada para todos os usos propostos, seja por falta do insumo, seja por problemas nas instalações, o sistema não potável é provido de alimentação de água potável no reservatório inferior para garantir o fornecimento constante de água nos pontos de consumo. Dessa forma, essa ligação deve ser tratada separadamente, porém com ênfase no processo de avaliação de risco.

Após a caracterização do objeto da análise, foram definidos os eventos que possam trazer prejuízos à saúde dos usuários, listando-os na forma de *checklist*.

Definido o objeto a ser analisado, iniciaram-se os procedimentos inerentes à atribuição de “pesos” ou indicações qualitativas relacionadas a cada evento.

Primeiramente, foram definidas as possíveis formas de contaminação ou prejuízo para os usuários, conforme o Quadro 22.

Quadro 22 - Formas de contaminação ou prejuízo para os usuários

<b>Identificação</b>	<b>Formas de contaminação/prejuízo para os usuários</b>
<b>1</b>	Contato epitelial com ferimento
<b>2</b>	Contato com os olhos
<b>3</b>	Contato com mucosas
<b>4</b>	Ingestão acidental
<b>5</b>	Ocorrência de odor desagradável
<b>6</b>	Aspecto visual desagradável
<b>7</b>	Patologias nos sistemas hidrossanitários

Adotando-se essas formas de contaminação ou prejuízo para a análise em questão, foi definida a causa do evento. As possíveis causas são apresentadas no Quadro 23.

Quadro 23 - Possíveis causas de contaminação

<b>Identificação</b>	<b>Causas</b>
<b>A</b>	Ligação cruzada entre o sistema de água potável e o de água não potável
<b>B</b>	Negligência do usuário
<b>C</b>	Ineficiência ou inexistência de sinalização de “água não potável”
<b>D</b>	Inexistência de sistema de desinfecção (remoção de microorganismos)
<b>E</b>	Inexistência de tratamento dos aspectos físicos
<b>F</b>	Aerossol da bacia sanitária

Observam-se para o estudo proposto a existência de sete possíveis formas de contaminação ou prejuízo e seis possíveis causas para que o prejuízo venha a ocorrer. O resultado do cruzamento dessas hipóteses são os eventos potencialmente danosos aos usuários e ao sistema. Como exemplo, o evento “1A” refere-se ao prejuízo causado ao usuário em função do contato epitelial com ferimento por água não potável em razão de uma ligação cruzada entre os sistemas. Pode-se observar ainda que para a forma de contaminação “1” todas as causas são potencialmente danosas (1A, 1B, 1C, 1D, 1E), ao passo que para a forma de contaminação “6”, por exemplo, apenas as causas “B” e “E” são representativas (6B, 6E). Verificam-se 42 eventos de risco potencial, os quais foram submetidos à metodologia da APP, especificando-se para cada um sua frequência e severidade.

Para realizar tal análise são necessários parâmetros qualitativos, tanto para o sistema operando em sua eficiência projetada, quanto para qualidade inferior, ou seja, levando em consideração a qualidade do insumo tratado e a qualidade do insumo não tratado. Foram utilizados os parâmetros qualitativos encontrados na literatura para água ainda bruta, ou seja,

sem tratamento. A metodologia também poderia ser aplicada em estudos de caso nos quais se conhece a característica da água utilizada no sistema, sob a forma de um histórico que permita formular uma média qualitativa mais confiável.

Foram adotadas as análises realizadas por vários autores de publicações que vão de 1976 a 2008. Podem-se citar Fiori (2005), que coletou água cinza em edifícios residenciais de classe média e média alta, e Zabrocki (2005), que coletou água cinza em edificações multi e unifamiliares com padrão social de médio a alto, conforme o Quadro 24.

Quadro 24 - Exemplos de análises qualitativas pesquisadas

Parâmetros Microbiológicos e físicos				
AUTOR	PARÂMETROS			
	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Fecais (NMP/100ml)	Turbidez (UNT)	SS (mg/l)
Fiori (2005)	$3,47 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$	246,49	146,60
Zabrocki (2005)	$1,60 \times 10^8$	$1,60 \times 10^7$	197	-

Fonte: Fiori (2005) e Zabrocki (2005)

Os dados apresentados no Quadro 24 dizem respeito à água cinza bruta, ou seja, antes de ser submetida a qualquer tipo de tratamento. No caso de análise levando em consideração a água cinza após tratamento, poderiam ser adotados como parâmetros mínimos de qualidade os estabelecidos pela resolução Conama 357/05 - classe 2, referente a águas destinadas à recreação de contato primário, descritos no Quadro 25.

Quadro 25 - Parâmetros de qualidade a classe de uso 2 da Resolução Conama 357/05

Parâmetros Microbiológicos e físicos					
AUTOR	PARÂMETROS				
	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)		Turbidez (UNT)	SS (mg/l)
CONAMA 357/05	5000	1000		100	-

Fonte: Resolução Conama 357/2005

Observa-se a grande diferença quanto à qualidade da água cinza bruta e os requisitos estabelecidos pela resolução 357/05 para o uso definido.

De posse dos dados qualitativos, dos eventos de risco potencial, adotou-se a matriz de risco proposta por Aguiar (2007), após adaptações, e procedeu-se à APP.

Como para a prática de reúso não são necessárias tantas subdivisões de frequências, sintetizaram-se, no Quadro 26, as frequências de ocorrências adotadas para a análise realizada.

Quadro 26 - Frequências de ocorrência dos cenários utilizadas na análise

<b>Categoria</b>	<b>Denominação</b>	<b>Faixa de Frequência (anual)</b>	<b>Descrição</b>
<b>A</b>	REMOTA	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer ao longo da vida útil do sistema
<b>B</b>	ESPORÁDICA	$10^{-3} < f < 10^{-1}$	Esperado ocorrer no mínimo uma vez ao longo da vida útil do sistema
<b>C</b>	FREQUENTE	$f > 10^{-1}$	Esperado de ocorrer várias vezes durante a vida útil do sistema

Fonte: Adaptado de Aguiar (2007)

Da mesma forma que as frequências foram resumidas, as faixas de severidade foram sintetizadas de acordo com a realidade da prática do reúso. No Quadro 27 podem ser visualizadas as três severidades possíveis adotadas na análise.

Quadro 27 - Severidade dos perigos identificados utilizadas na análise

<b>Categoria</b>	<b>Denominação</b>	<b>Descrição/Característica</b>
<b>I</b>	DESPREZÍVEL	Sem danos ou danos insignificantes ao sistema e aos usuários, não ocorrem lesões ou morte de pessoas.
<b>II</b>	MEDIANA	Danos leves aos usuários e ao sistema são controláveis e de fácil solução
<b>III</b>	CRÍTICA	Danos severos ao sistema e aos usuários, necessitam de intervenção imediata para evitar complicações

Fonte: Adaptado de Aguiar (2007)

Do cruzamento entre as frequências e as severidades, é concebida a matriz de classificação de riscos, que vai de risco 01 (desprezível) a risco 05 (crítico). Na Figura 14 observa-se a matriz e na Tabela 04, a legenda da matriz de classificação de risco.



		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>SEVERIDADE</b>	<b>III</b>	3	5	5
	<b>II</b>	1	3	4
	<b>I</b>	1	2	3

Figura 14 - Matriz de classificação de risco  
Fonte: Adaptado de Aguiar (2007)

Tabela 04 - Legenda da matriz de classificação de risco

<b>Severidade</b>	<b>Frequência</b>	<b>Risco</b>
I Desprezível	A Remota	<b>1 Desprezível</b>
II Mediana	B Esporádica	<b>2 Menor</b>
III Crítica	C Frequente	<b>3 Moderado</b>
		<b>4 Sério</b>
		<b>5 Crítico</b>

Fonte: Adaptado de Aguiar (2007)

Os riscos foram definidos em função das análises qualitativas e dos julgamentos realizados de acordo com o conhecimento prévio das condições de um sistema de reúso e dos riscos envolvidos no processo.

A aplicação da metodologia levou em consideração a severidade dos eventos e as frequências de ocorrência esperadas utilizando uma escala de risco que vai de um a cinco, sendo um para desprezível e cinco para crítico.

Por exemplo, o evento “1-A” refere-se ao contato epitelial com ferimento com água proveniente da ligação cruzada entre o sistema de água potável e o de água não potável; o evento “4-B” refere-se à ingestão acidental de água não potável por negligência do usuário, e assim, sucessivamente, são cruzadas as formas de contaminação com suas causas. Esses eventos foram classificados conforme o Quadro 28.

Quadro 28 - Classificação de risco para causa A

<b>Causa A - Ligação cruzada entre o sistema de água potável e o de água não potável</b>				
<b>Evento</b>	<b>Severidade</b>	<b>Frequência</b>	<b>Risco</b>	
1-A	II	C	4	Sério
2-A	III	C	5	Crítico
3-A	III	C	5	Crítico
4-A	III	C	5	Crítico
5-A	I	A	1	Desprezível
6-A	I	A	1	Desprezível
7-A	II	B	3	Moderado

No Quadro 28 pode-se observar que para a causa “A”, em função das frequências de ocorrência e das severidades dos eventos, três foram considerados de risco crítico, um de risco sério, um de risco moderado e dois de risco desprezível. Da mesma forma, a análise estendeu-se a todas as causas e formas de contaminação ou prejuízo evidenciadas.

Foram contempladas 42 hipóteses de exposição do usuário aos contaminantes elencados. Como resultado da APP, dezenove foram consideradas de risco cinco (crítico), uma de risco quatro (sério), nove de risco três (moderado) e treze de risco um (desprezível). O Quadro 29 organiza os eventos segundo o risco que oferecem aos usuários.

Quadro 29 - Classificação dos eventos em função do risco

<b>Evento</b>	<b>Severidade</b>	<b>Frequência</b>	<b>Risco</b>	
5-A	I	A	1	Desprezível
6-A	I	A	1	Desprezível
5-B	I	A	1	Desprezível
6-B	I	A	1	Desprezível
5-C	I	A	1	Desprezível
6-C	I	A	1	Desprezível
7-C	I	A	1	Desprezível
5-D	I	A	1	Desprezível
6-D	I	A	1	Desprezível
7-D	I	A	1	Desprezível
5-F	I	A	1	Desprezível
6-F	I	A	1	Desprezível
7-F	I	A	1	Desprezível
7-A	II	B	3	Moderado
1-B	II	B	3	Moderado
7-B	II	B	3	Moderado
1-E	II	B	3	Moderado
2-E	II	B	3	Moderado
3-E	II	B	3	Moderado
1-F	II	B	3	Moderado
2-F	II	B	3	Moderado
3-F	II	B	3	Moderado
1-A	II	C	4	Sério
2-A	III	C	5	Crítico
3-A	III	C	5	Crítico
4-A	III	C	5	Crítico
2-B	III	B	5	Crítico
3-B	III	B	5	Crítico
4-B	III	B	5	Crítico
1-C	III	C	5	Crítico
2-C	III	C	5	Crítico
3-C	III	C	5	Crítico
4-C	III	C	5	Crítico
1-D	III	B	5	Crítico
2-D	III	B	5	Crítico
3-D	III	B	5	Crítico
4-D	III	B	5	Crítico
4-E	III	B	5	Crítico
5-E	III	C	5	Crítico
6-E	III	C	5	Crítico
7-E	III	C	5	Crítico
4-F	III	B	5	Crítico

Foram contempladas 42 hipóteses de exposição do usuário aos contaminantes elencados. Como resultado da APP, dezanove foram consideradas de risco cinco (crítico), uma de risco quatro (sério), nove de risco três (moderado) e treze de risco um (desprezível). O Quadro 30 e a Figura 15 sintetizam esses resultados.

Quadro 30 - Síntese dos resultados da APP

	<b>RISCO</b>	<b>Nº EVENTOS</b>	<b>%</b>
5	CRÍTICO	19	45.2%
4	SÉRIO	1	2.4%
3	MODERADO	9	21.4%
1	DESPREZÍVEL	13	31.0%
	<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>100.0%</b>

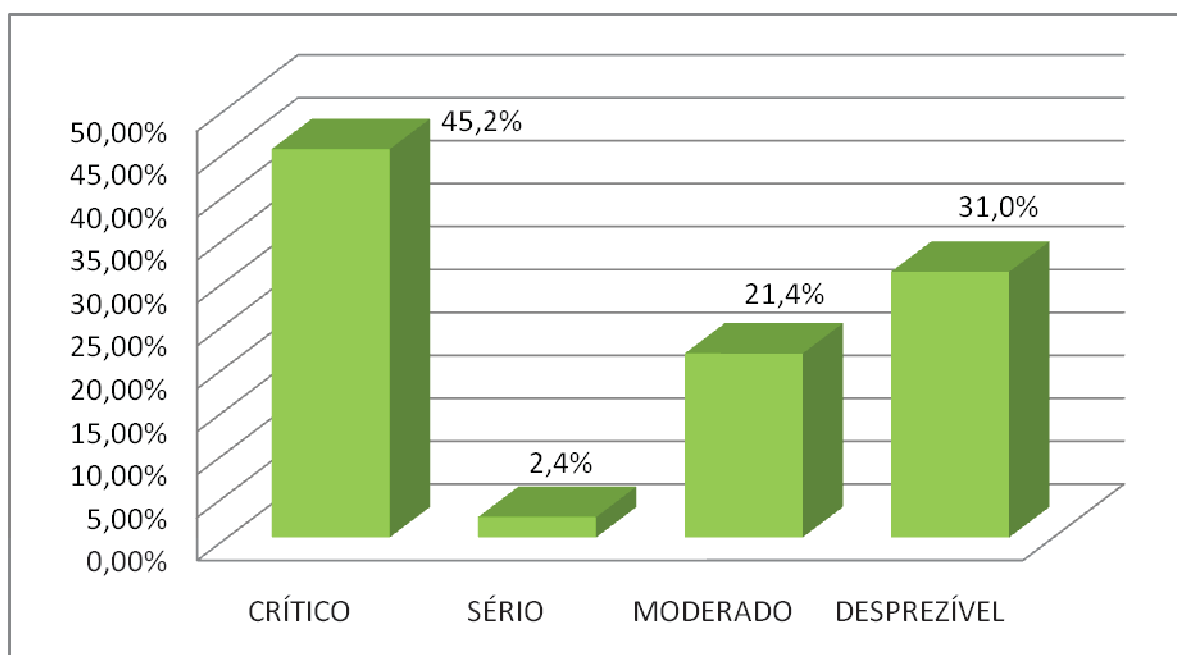


Figura 15 - Síntese dos resultados da APP

Analisando o Quadro 30 e a Figura 15, pode-se concluir que quase 50% dos possíveis eventos danosos foram considerados críticos. Somando-se os eventos considerados moderados, sérios e críticos, o índice vai para 69% dos eventos, ou seja, é extremamente elevado.

### 4.3 Resultados do Processo Analítico de Hierarquização

#### 4.3.1 Definição da melhor alternativa de uso

Após a definição dos critérios, foram definidos os possíveis usos de água não potável para a edificação hipotética, que são:

- a) rega de jardim;
- b) lavagem de pisos;
- c) descarga de bacia sanitária;
- d) instalações de combate a incêndio.

Na Figura 16 a hierarquização pode ser compreendida com maior clareza.

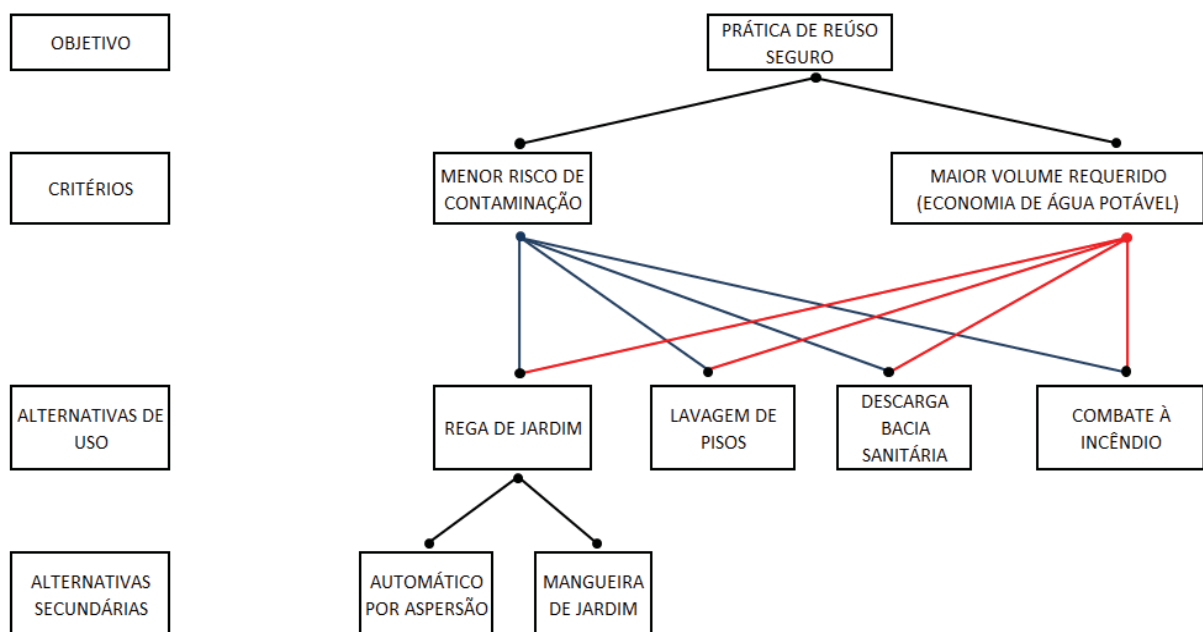


Figura 16 - Hierarquização para definição do uso da água não potável

Observa-se que, além das alternativas de uso, podem ser estabelecidas alternativas secundárias. Para rega de jardim, por exemplo, há a possibilidade de utilização de sistema automático ou mangueira de jardim. Após a hierarquização, deve-se escolher uma das alternativas secundárias, ou até mesmo as duas em função do julgamento.

O próximo passo foi construir uma matriz de comparações binárias, definindo-se o peso de cada elemento sobre cada critério de referência do nível superior. A matriz permite transcrever esse valor a uma dada posição e o recíproco (inverso) na outra posição simétrica,

ou seja, se o critério “A” tem uma importância com peso “9” sobre o critério “B”, o critério “B” terá uma importância com peso “1/9” sobre o critério “A”.

Um elemento situado à esquerda é, por convenção, examinado em sua função relativamente ao elemento situado no topo da matriz. Procede-se à comparação, par a par, de cada elemento no nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz o decisor representará, a partir de uma escala predefinida de comparações binárias entre os elementos comparados, sob o enfoque de um elemento do nível imediatamente superior.

As comparações par a par são realizadas em todos os níveis hierárquicos. A comparação par a par das alternativas é realizada utilizando-se uma escala própria, que varia de 1 a 9. Saaty (1991) propôs essa escala, denominada a “Escala Fundamental”, de acordo com o Quadro 31.

Quadro 31 - Escala de prioridade do método AHP

<b>Escala de prioridade: intensidade de importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Muito Forte importância	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores	Se a atividade "I" recebe uma das designações diferentes de zero, quando comparada com a atividade "j", então "j" tem o valor recíproco quando comparada com "i"	Uma designação razoável.

Fonte: Saaty (1991)

Então, determinam-se os graus de preferência para cada critério, com o desenvolvimento de duas matrizes, que comparam os graus de intensidade por pares em função de cada característica, referentes aos dois critérios adotados.

A escala proposta por Saaty (1991) vai de 1 a 9, ou estabelece igual importância à importância absoluta de um critério sobre o outro, respectivamente.

A realização dos julgamentos foi realizada levando-se em consideração alguns dados auxiliares utilizados para nortear a definição da importância entre os critérios estabelecidos. Para o critério “menor risco” foram utilizados os resultados encontrados na Análise Preliminar de perigo, que identificou as possibilidades de exposição para cada tipo de uso e o risco associado a esta exposição. Para o critério maior volume de água não potável requerido foram utilizadas estatísticas de consumo de água em função do uso encontradas na literatura, conforme o Quadro 32.

Quadro 32 - Porcentagem de água utilizada em média em uma edificação

VOLUME REQUERIDO (adotado da bibliografia)	
Rega de jardim	3%
Lavagem de pisos	3%
Descarga bacia sanitária	41%
Combate à incêndio	função da edificação

Nota-se que para o uso em combate a incêndio não há valor médio, uma vez que a água reservada para incêndio não é utilizada regularmente e a definição de seu volume se dá em função de características da edificação, e muitas vezes, dependendo dessas, pode nem existir.

Com base nesses dados auxiliares, procedeu-se à estruturação das matrizes para realização dos julgamentos em função de cada critério, conforme as tabelas 05 e 06.

Tabela 05 - Matriz de preferência à luz do critério 01

Preferência por <b>MAIOR VOLUME REQUERIDO</b>				
<b>Critério 01</b>	Rega de jardim	Lavagem de pisos	Descarga bacia sanitária	Combate à incêndio
Rega de jardim	1	1	1/9	3
Lavagem de pisos	1	1	1/9	3
Descarga bacia sanitária	9	9	1	9
Combate à incêndio	1/3	1/3	1/9	1



Tabela 06 - Matriz de preferência à luz do critério 02

Preferência por <b>MENOR RISCO DE CONTAMINAÇÃO</b>				
<b>Critério 02</b>	Rega de jardim	Lavagem de pisos	Descarga bacia sanitária	Combate à incêndio
Rega de jardim	1	3	4	1/7
Lavagem de pisos	1/3	1	1/2	1/9
Descarga bacia sanitária	1/4	2	1	1/8
Combate à incêndio	7	9	8	1

Após a realização dos julgamentos, procedeu-se à normalização das matrizes, dividindo-se cada elemento da matriz pela soma da coluna a que pertence. Normalizar os valores de cada coluna significa tornar a soma de todos os seus elementos igual a 1, ou seja 100%. Dessa forma, cada valor da coluna representa uma porcentagem do total.

No próximo passo obteve-se a média de cada critério convertendo as frações em decimais e encontrando a média aritmética de cada linha da matriz normalizada. Com as médias encontradas construiu-se uma matriz em que as linhas constituirão as alternativas e as colunas, os critérios, que representa o impacto de cada alternativa sob cada critério, conforme a Tabela 07.

Tabela 07 - Matriz de preferências

MATRIZ DE PREFERÊNCIAS		
	Maior volume requerido	Menor risco de contaminação
Rega de jardim	0,112	0,179
Lavagem de pisos	0,112	0,056
Descarga bacia sanitária	0,725	0,082
Combate à incêndio	0,051	0,683

Observa-se que, sob o critério “menor risco de contaminação”, a melhor alternativa são as instalações de combate a incêndio e, sob o critério “maior volume requerido”, a melhor alternativa é descarga de bacia sanitária. Para determinar a melhor alternativa em função dos dois critérios simultaneamente, construiu-se uma matriz de comparação dos critérios e repetiram-se as etapas de realização de julgamentos e normalização da matriz, conforme a Tabela 08. O resultado será um vetor que contém a média das preferências de cada critério, de acordo com a Tabela 09.

Tabela 08 - Matriz de comparação entre critérios

COMPARAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS		
	Maior volume requerido	Menor risco de contaminação
Maior volume requerido	1	1/8
Menor risco de contaminação	8	1

Tabela 09 - Vetor de preferência entre os critérios

NORMALIZAÇÃO CRITÉRIOS	
	Média
Maior volume requerido	0,11
Menor risco de contaminação	0,89
<b>SOMATÓRIO</b>	<b>1,000</b>

O resultado é obtido multiplicando-se a matriz de preferências da Tabela 07 pelo vetor da média obtido na Tabela 09. O resultado será um vetor que contém quantificação final de cada alternativa, conforme a Figura 17.

MATRIZ DE PREFERÊNCIAS					
	Maior volume requerido	Menor risco de contaminação		<b>Média</b>	<b>Resultado</b>
Rega de jardim	0,112	0,179	X	0,111	0,1716247
Lavagem de pisos	0,112	0,056		0,889	0,062006
Descarga bacia sanitária	0,725	0,082			0,1532829
Combate à incêndio	0,051	0,683			0,6130863

Figura 17 - Cálculo do resultado final

No Quadro 33 pode-se observar a classificação dos usos em função das preferências estabelecidas.

Quadro 33 - Síntese dos resultados do processo para definição do uso

Usos	Preferência
Rega de jardim	17,2%
Lavagem de pisos	6,2%
Descarga bacia sanitária	15,3%
Combate a incêndio	61,3%
TOTAL	100,0%

Observa-se que a alternativa mais promissora para a prática segura do reúso dentre as analisadas são as instalações de combate a incêndio, uma vez que o contato do usuário com o insumo é bastante restrito. Em segundo lugar, à luz dos critérios escolhidos, está a rega de jardim, vista aqui como a mais promissora e segura utilização da água não potável para os usos em que a possibilidade de contato com o usuário é evidente. Como muitas edificações não possuem instalações de combate a incêndio, em razão de suas características, a rega de jardim demonstra-se mais atrativa quando se combinam os critérios risco e economia de água potável. A bacia sanitária, considerada por muitos pesquisadores a melhor alternativa por induzir uma economia maior de água, é menos preferível que a rega de jardim em razão do prejuízo que pode causar, levando em conta a falha na remoção de agentes físicos do efluente, o que pode gerar aparência desagradável e mau cheiro.

#### 4.3.2 Definição da fonte mais promissora

Com base na análise dos dados levantados acerca dos parâmetros qualitativos de cada ambiente, pode-se observar, inicialmente, que a fonte mais promissora de água cinza para reúso seriam os efluentes gerados na área de serviço. Dessa forma, o processo analítico de hierarquização foi aplicado buscando definir, dentre os ambientes estudados, a fonte mais promissora, usando como critérios a qualidade da água cinza e o volume gerado por ambiente, tendo como preferências um maior volume gerado de água cinza e a menor contaminação do efluente.

Após a definição dos critérios, foram definidas as possíveis fontes de água não potável para a edificação hipotética, conforme a Figura 18, que são:

- a) água cinza da área de serviço;
- b) água cinza da cozinha;

- c) água cinza do banheiro;
- d) água cinza da mistura entre efluentes.

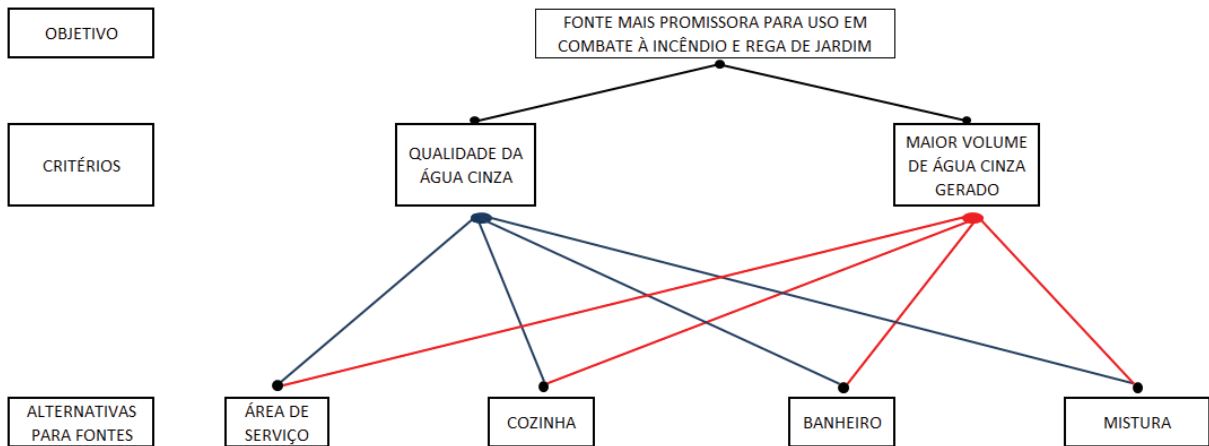


Figura 18 - Hierarquização para definição da fonte mais promissora de água não potável.

Após a definição do objetivo, critérios e alternativas, o processo é realizado em função das preferências do julgador. Pela análise paritária entre critérios e alternativas, normalizam-se as matrizes e confecciona-se a matriz de preferências. O resultado final é definido em porcentagem de preferência, sendo tanto melhor a alternativa quanto for o percentual correspondente. O Quadro 34 sintetiza esses resultados acerca da melhor alternativa de fonte de água cinza para uso não potável.

Quadro 34 - Síntese dos resultados do processo para definição da fonte

Fontes	Preferência
Área de serviço	64,44%
Cozinha	4,66%
Banheiro	17,39%
Mistura	13,51%
TOTAL	100.0%

Observa-se que as considerações preliminares realizadas acerca da fonte mais promissora que definiu como melhor alternativa o efluente proveniente da área de serviço foi confirmada pelo processo analítico de hierarquização. A análise resultou em 64,44% de

preferência no uso da água deste ambiente sanitário, levando em consideração o maior volume gerado e os menores índices de contaminantes.

Os piores resultados foram confirmados, da mesma forma, para a cozinha, que apresenta apenas 4,66% de preferência à luz dos mesmos critérios.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Conclusões da pesquisa

A prática do reúso de águas cinza nas edificações como forma de conter o desperdício deste insumo é, inegavelmente, uma das mais promissoras alternativas disponíveis para a mitigação dos problemas relacionados à escassez hídrica. Porém, em razão dos contaminantes presentes na água cinza, seu uso pode trazer riscos à saúde dos usuários ou prejuízos aos mesmos.

Verificou-se neste trabalho que 45,2% dos eventos envolvendo o uso do insumo podem ser potencialmente danosos aos usuários. Ainda, em consulta à bibliografia existente, constatou-se a inexistência de materiais adequados para a correta aplicação dessa tecnologia, visto que é necessária a utilização dos mesmos materiais empregados em sistemas hidráulicos de água potável. Percebe-se, em razão desse fato, a grande probabilidade de acidentes, como ligação cruzada entre as duas redes, dada a dificuldade de identificação.

Outro fator extremamente relevante é a probabilidade de implantação de um sistema de reúso sem a correta sinalização das tomadas de água. Apontam-se esses dois fatores e a possível negligência de usuários como os responsáveis pela classificação negativa obtida através da análise preliminar de perigo.

São necessárias, portanto, intervenções tecnológicas de modo a mitigar a indisponibilidade de materiais adequados, intervenções operacionais no âmbito da sinalização apropriada, por meio de legislação adequada, por exemplo, estabelecendo vistorias periódicas nas edificações que utilizam este tipo de sistema, além de aprovação de projeto específico nos órgãos competentes. Intervenção no âmbito cultural deve ser fomentada gradativamente, uma vez que o usuário precisa ser preparado adequadamente para utilização de um sistema de reúso de águas, dada a complexidade de operação.

Com relação às melhores práticas indicadas, o processo analítico de hierarquização mostrou-se como uma ferramenta extremamente útil, sendo imprescindível sua aplicação para projetos de reúso a serem implantados e também na readequação de sistemas já em operação. A hierarquização pode indicar as melhores opções de uso da água não potável e as melhores alternativas de fonte de água cinza. Esta ferramenta pode ser utilizada ainda em outros ramos da engenharia com muita proficiência.

O estudo apontou as instalações de combate a incêndio como a melhor alternativa de uso de água cinza, em função da baixa probabilidade de contato do insumo com os usuários, com 61,30% de preferência. Em segundo lugar ficou o uso de água não potável para rega de jardim, com 17,20 % de preferência. Entretanto, como nem todas as edificações possuem sistema hidráulico de combate a incêndio e, dependendo das características da edificação, o uso em rega de jardim se mostra como a mais promissora alternativa no que tange à segurança do usuário.

Como fonte mais promissora de água cinza para reúso não potável o estudo apontou as águas provenientes das áreas de serviço, tanto em razão da qualidade do efluente gerado quanto pelo considerável volume gerado, apresentando 64,44% de preferência conforme os critérios analisados. Verificou-se também que a água cinza originada da cozinha é a pior alternativa quanto à qualidade do efluente, com 4,66% de preferência, cujo uso poderia encarecer o processo de tratamento do sistema de reúso e dependendo da situação indica-se evitá-lo.

Vale ressaltar que para as duas metodologias aplicadas não houve a formação de uma equipe para realização dos julgamentos. Justifica-se tal decisão em função do conhecimento adquirido através da revisão da literatura e do conhecimento prévio da orientadora da pesquisa, evitando, assim, uma análise tendenciosa. A metodologia multicritério de apoio à decisão é extremamente flexível na definição de objetivos e no estabelecimento de critérios para alcançar estes objetivos; os resultados são coerentes e de fácil interpretação, podendo o método analítico de hierarquização ser aplicado, por exemplo, para definição de objetivos secundários, estabelecendo-se subcritérios e realizando-se os julgamentos necessários.

Pode-se afirmar, então, que a aplicação das metodologias escolhidas em conjunto pode contribuir imensamente para a manutenção de níveis de segurança adequados à saúde pública. Os procedimentos utilizados identificam os eventos de maior risco de modo a controlá-los e evitá-los, além de definir com clareza as opções mais seguras de reúso para cada projeto à luz dos critérios estabelecidos e dos riscos aceitáveis.

Ressalta-se a necessidade do estabelecimento de normas diretrizes nacionais para regulamentar a prática do reúso de forma a garantir a segurança dos usuários, o bom funcionamento do sistema e a promoção da economia de água potável. Dessa forma, a aplicação das metodologias de análise de risco utilizada pretende assistir aos tomadores de decisão na implantação desse tipo de sistema, garantindo o cumprimento das boas práticas de engenharia.

## 5.2 Recomendações para trabalhos futuros

- a) aplicar as metodologias avaliadas no reúso de efluentes de ETEs;
- b) elaborar um Plano de Administração e Monitoramento de Riscos (PAMR), que possa conduzir a uma prática segura do reúso de águas;
- c) continuar a coleta e tabulação de dados qualitativos de água cinza;
- d) monitorar uma ou mais edificações com sistema de reúso em funcionamento de modo a determinar, no longo e médio prazo, a ocorrência de acidentes e eventos danosos à saúde humana decorrentes do uso do sistema.
- e) determinar sistemas de tratamento adequados para a prática do reúso seguro de águas.



## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira De Normas Tecnicas. *Tanques sépticos* - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos projeto, construção e operação: NBR 13.969. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

AGUIAR, L. A. *Aplicação de programa de conservação de água em edifícios residenciais*. Dissertação (Mestrado em construção civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2008.

AGUIAR, L. A. Metodologias de análise de riscos APP & Hazop. Apostila de disciplina. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Poli – UFRJ. Mar. 2007. Disponível em <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

AMORIM, J. M; MACEDO, J. *Doenças de origem hídrica e de origem alimentar*. Águas e águas. Varela. 2001. 62 p.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2001). *Introdução do Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 3. ed. Brasília/DF.

ASANO, Takashi et al. Evolution of tertiary treatment requirements in California. *Water Environment & Technology*, 1992.

ASANO, T. *Wastewater reclamation reuse*. Water Quality Management Library. 1998. v. 10

ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DE SAÚDE DO NORTE. *Orientações para a execução do programa de vigilância sanitária de águas para consumo humano* - ano 2011. Departamento de Saúde Pública – Ministério da Saúde. Portugal. 2010.

BAZZARELLA, B. B. *Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)– Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. 165p.

BLUM, J. R. C. *Critérios e padrões de qualidade*. Reúso de Água. Barueri, SP: Manole, 2002.

BONI, S. S. N. *Gestão de água em edificações*: formulação de diretrizes para o Reúso de água para fins não potáveis. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2009.

BRASIL. Decreto Federal n.º24.643, de 10 de julho de 1934. Código de água. Brasil, Jul. 1934.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Lex: Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasil, Jan. 1997.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Agência Nacional de Águas – ANA. Brasil, Jul. 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria MS nº518 de 25/03/2004*. Secretaria de Atenção à Saúde. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/saude>. Acesso em 15 de outubro de 2009.

BRITES, C. R. C. *Abordagem multiobjetivo na seleção de sistemas de reúso de água em irrigação paisagística no Distrito Federal*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

CETESB. *Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos*. São Paulo: CETESB, 2003.

CIBYS, W. A. *Análise de risco*. Laboratório de Utilizabilidade da Informática. Departamento de Informática e Estatística. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CNRH - Conselho Nacional De Recursos Hídricos. Resolução nº 48, de 21 de março de 2005. Critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. CNRH, mar. 2005.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Modalidades, diretrizes e critérios gerais para prática de reúso direto não potável de água. CNRH, nov. 2005.

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, 24. Belo Horizonte/MG, 14p, 2007. *Anais...*

CONSEMA - Conselho Estadual Do Meio Ambiente. Resolução n.º 128, de 2006. Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que

lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul. CONSEMA, nov. 2006.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 357, de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONAMA, mar. 2005.

\_\_\_\_\_. Resolução n.º 274, de 2000. Legislação de balneabilidade, em relação aos níveis estabelecidos para a balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário. CONAMA, nov. 2000.

CORREC, O.; DERRIEN, F.; DIAB, Y. Degradation Risk Assessment in Drinking Water Distribution Systems. *Revue Française de Génie Civil*, 2007.

DE PAULA, H. M.. *Sistema de aproveitamento de água de chuva na cidade de Goiânia: avaliação da qualidade da água em função do tempo de detenção no reservatório*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

CROOK, J. Water reuse. In: ASPE CONVENTION, American Society of Plumbing Engineer, 1998. *Technical Proceedings...*

DESENVOLVIMENTO Urbano. PNCDA: – Plano Nacional de Combate ao Desperdício da Água. Brasília, 1997. Disponível em <<http://www.pncda.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

ENVOLVERDE - Revista Digital de Meio Ambiente e Desenvolvimento. COP-15: Pouca água na cúpula. São Paulo, dez. de 2009. Disponível em <<http://www.ecoacao.com.br/>>. Acesso em: 26 dez. 2009.

EPA (US) - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for water reuse. EPA 625-R-04-108. Office of Water, Washington, DC, 2004.

ERIKSSON, E. et al. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*. V.4. 2002.

FELICIANO FILHO, W. *Análise de risco ambiental*. Conselho Regional de Química IV Região (SP/MS). São Paulo, nov. 2006.

FIESP/CIESP. *Conservação e reúso de água*: manual de orientações para o setor industrial. Fiesp/Ciesp/ANA. V. 1. Disponível em <<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>> Acesso em: 8 nov. 2009.

FIESP/SESI/SENAI/IRS. *Conservação e reúso da água em edificações*. São Paulo: Prol, 2005.

FIORI, S. *Avaliação qualitativa e quantitativa do potencial de reúso de água cinza em edifícios residenciais multifamiliares*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

FLORIO E. R. A. et al. Programa piloto de utilização de água de reúso pelo setor de transportes localizado na zona norte da região metropolitana de São Paulo. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVIII. Cancun, México. 2002. *Anais...*

FONINI, A. *Estudo para determinação da capacidade de reúso das águas pluviais e de efluentes*. UPF – FAPERGS. UPF, 2003. Relatório referente à bolsa Probic.

FORGIARINI, F. R. *Modelagem da cobrança pelo uso da água bruta para aplicação em escala real na bacia do rio Santa Maria*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

GENERINO, R. C. M. *Contribuições da abordagem multicritério na seleção de alternativas de reúso de água*: aplicação em um caso de irrigação agrícola e paisagística no Distrito Federal. Tese (Doutorado em saúde pública) - Faculdade de Saúde pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GONÇALVES, R. F. et al. *Uso racional da água em edificações – Projeto PROSAB*. 1 Rio de Janeiro: Sermograf Artes Gráficas, 2006. 352 p.

GONÇALVES, R.F. *Desinfecção de efluentes sanitários*: ABES, RiMa, Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, 2003.

GRANDZOL, John R. Improving the faculty selection process in higher education: a case for the Analytic Hierarchy Process. *IR Applications*, Bloomsburg University of Pennsylvania, v. 6, Aug. 2005.

ILHA, M. Construindo o futuro. Hoje. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, I. São Paulo: CBCS, 2008. *Anais...*

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. PGRH (Plano de Gestão de Recursos Hídricos) do Aeroporto Internacional Salgado Filho. Superintendência Regional Sul, Porto Alegre/RS. 2004

JEFFERSON, B. et al. Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*, p. 285-292, 2000.

JORDÃO, B. M. C.; PEREIRA, S. R. *A análise multicritério na tomada de decisão – O método analítico hierárquico de T. L. Saaty*. 2006. Trabalho de disciplina no Instituto Politécnico de Coimbra – Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, 2006.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgoto doméstico*. 4. ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.

KIPERSTOK, A. Qualidade mínima para reúso de efluentes domésticos em vasos sanitários: uma proposta para discussão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, IV. Porto Alegre: PUCRS, 2004. *Anais...*

MALINOWSKI, A. *Aplicação de metodologia para a estruturação de diretrizes para o planejamento do reúso de água no meio urbano*. 2006. Dissertação (Mestrado em engenharia de recursos hídricos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H. F. *Reúso de água*. Barueri, SP: Manole, 2003. 588p.

NOGUEIRA, Paulo Ferraz. *Escassez de água*. Disponível em <<http://www.uniagua.org.br>>. Acesso em: 14 out. 2005.

NUNES, R. et al. Avaliação do potencial de reúso de água em equipamento de análises clínicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XI. Florianópolis/SC, 2006. *Anais...*

OLIVEIRA, L. H. *Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios*. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999. 349 f.

PACHECO, Eduardo. Racionalização da água: o futuro chegou. Disponível em <[http://www.conesulrs.com.br/imgs\\_link/03-materia\\_agua01.pdf](http://www.conesulrs.com.br/imgs_link/03-materia_agua01.pdf)> Acesso em: 08 mai. 2009.

PETERS, M. R. *Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial*. Dissertação (Mestrado em recursos hídricos) – Centro Tecnológico. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis 2006.

PURA - Programa de Uso Racional da Água – SABESP - São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.SABESP.com.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

PACHECO, Eduardo. Racionalização da água: o futuro chegou. *Gerenciamento Ambiental*, São Paulo, ano 6, n. 29, jan./fev. 2004.

REVISTA PLANETA SUSTENTÁVEL. COP-15: Planeta e SABESP apresentam cases em evento do CEBDS. Abril, dez 2009. Disponível em <<http://planetasustentavel.abril.com.br/>>. Acesso em: 26 dez. 2009.

SAATY, Thomas L. *Método de análise hierárquica*. São Paulo: McGraw- Hill Pub, 1991.

SABESP – Saneamento Básico do Estado de São Paulo. *Tecnologia – Reúso de água*. São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.SABESP.com.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

SALOMON, V. A. P. *Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento e controle da produção*. 2003. Tese (Doutorado em engenharia de produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, 2003.

SANTOS, D.; ZABROCKI, L. Graywater characterization in residential building to assess its potencial use. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, CIBW62, Slovenia, Set. 2001. *Anais...*

SAUTCHÚK, C. et al. *Conservação e reúso da água em edificações*. São Paulo: Sinduscon, 2005.

SNIS (2007). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico dos Serviços de Águas e Esgotos – 2007*. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>> Acesso em: 3 dez. 2009.

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

ZABROCKI, L.; SANTOS, D. Caracterização da água cinza em edifícios residenciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande/MS, 2005. *Anais...*