José Moreno

**AVALIAÇÃO E GESTÃO DE RISCOS
NO CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA
EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO : ESTUDO DE CASO**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientadora: Prof. Dr. Ruth de Gouvêa Duarte

São Carlos

2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M843a Moreno, José
Avaliação e gestão de riscos no controle da qualidade
da água em redes de distribuição : estudo de caso / José
Moreno ; orientadora Ruth de Gouvêa Duarte. -- São
Carlos, 2009.

Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de
Concentração em Engenharia Hidráulica e Saneamento) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2009.

1. Abastecimento de água. 2. Água - avaliação de
risco. 3. Água para o consumo humano. 4. Redes de
distribuição de água. 5. Qualidade da água. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **JOSÉ MORENO**

Tese defendida e julgada em 06/11/2009 perante a Comissão Julgadora:

Prof^a. Dr^a. **RUTH DE GOUVÊA DUARTE (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **MARCELO DE JULIO**
(Instituto Tecnológico de Aeronáutica/ITA)

Aprovado

Prof. Dr. **ERICH KELLNER**
(Universidade Federal do ABC/UFABC)

APROVADO

Prof. Dr. **RODRIGO BRAGA MORUZZI**
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP
Campus de Rio Claro)

Aprovado

Prof. Dr. **ANTONIO EDUARDO GIANSAnte**
(Universidade Paulista/UNIP)

Aprovado

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Dedicatória

À *Salete*, minha esposa: o amor,
o apoio em todos os momentos e
a cumplicidade em meus projetos

À minha mãe Avany de Lourdes Moreno e.
in memoriam de meu pai José Moreno Garrido
pelo exemplo, carinho e incentivo constante

À minha irmã Vânia Moreno
Pelo carinho, constante incentivo e apoio.

Agradecimentos

A DEUS pelo dom da vida e colocar em meu caminho pessoas especiais.

A Profa. Ruth de Gouvêa Duarte, na orientação desta tese. Expresso a minha satisfação em haver escolhido uma pessoa que não negou esforços para tornar real este projeto. Além de excelente profissional, é ser humano raro em generosidade, seriedade e honradez.

A Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo e à Companhia de Saneamento Básico de São Paulo - SABESP, que me propiciaram a participação no Programa de Doutorado.

Aos meus amigos Carlos Augusto de Carvalho Magalhães, Sheila Sayuri Abe Magalhães, Adolfo José Leonardi e Silva e Cristina Penalva e Silva, pelo carinho, constante incentivo e por compreenderem o nosso período de retiro temporário.

A José Aurélio Boranga – Superintendente da Unidade de Negócio do Médio Tietê - SABESP, por disponibilizar informações essenciais ao desenvolvimento desta tese e, ao Engo. Antonio Egidio Mathias, pela compreensão e apoio dispensado.

Aos Professores Bernadete A. Varesche Silva e Luíz Antonio Daniel pela compreensão e ajuda num dos momentos mais difíceis da minha vida.

Aos Professores Maria do Carmo Calijuri e Marcelo Zaiat, Coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, pelo apoio e respeito sempre dispensado.

A minha amiga Mônica Taufik Rosolen pela delicadeza e carinho sempre demonstrado.

Aos Professores Rodrigo Moruzzi Braga e Erich Kellner pela presteza e importantes contribuições pertinentes que enriqueceram esta tese.

A Carlos Alberto Oliveira, pelo apoio e disponibilização das informações de interesse neste estudo.

Aos Engenheiros Arnaldo Mauro Elmec e Denise Maria Elisabeth Formaggia, exemplos de comprometimento e dedicação com a nobre causa da saúde ambiental.

A Maria Auxiliadora de C. Altieri Pin (Sá) pela sensibilidade, competência e atenção sempre dispensada a todos que a procuram.

Resumo

MORENO, J. (2009). *Avaliação e Gestão de Riscos no Controle da Qualidade da Água em Redes de Distribuição : Estudo de Caso*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

Esta pesquisa diz respeito à proposta de usar a avaliação e gestão de Risco como instrumento para controle da qualidade da água para consumo humano e operação de redes de distribuição. Em 2004 a Organização Mundial da Saúde – OMS – apresentou uma proposta abrangente para controle da qualidade da água denominada PSA, na qual foi indicado um processo sistemático para identificação de perigos e procedimentos de gestão e controle de riscos. Segundo a OMS, o maior benefício em se desenvolver planos desta natureza é a sistematização, avaliação detalhada e a priorização de perigos – além de monitoramento operacional através de múltiplas barreiras de controle. Este trabalho tem como objetivo examinar a pertinência de utilizar a avaliação de risco na operação de redes de distribuição e no controle da qualidade da água para consumo humano. Para tanto foi estudado como os conceitos de avaliação e de gestão de risco podem ser especificamente aplicados em redes de distribuição de água. Este estudo possibilitou a identificação e caracterização de variáveis relevantes, as quais possibilitaram definir critérios e parâmetros, a partir dos quais foi possível elaborar método para a avaliação de risco microbiológico em redes de distribuição de água, baseado nos estudos de Godfrey et. al. (2002) e Tibatemwa (2003). A avaliação e a validação do instrumento proposto foram feitas por meio de estudo de caso desenvolvido no sistema de abastecimento de água de Itatinga, cidade de pequeno porte situada no interior do Estado de São Paulo. O método proposto propiciou conhecer em detalhes como é feita a gestão da rede de distribuição de água, indicou situações de perigo e, principalmente, permitiu quantificar os referidos riscos. A partir da compreensão dos riscos avaliados, através do modelo foi possível observar o efeito sinérgico de determinadas intervenções, tais como a substituição de tubulações com elevada pontuação de risco. O método proposto mostrou ser eficaz na identificação e caracterização dos riscos microbiológicos que envolvem a operação e o controle da qualidade da água em redes de distribuição.

Palavras-chave: risco, avaliação de risco, rede de distribuição de água, qualidade da água.

Abstract

MORENO, J. (2009). *Risk Management and Assessment in the Control of the Quality of Water in Water Distribution Networks: A case study.* (PhD thesis) School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos/ SP – Brazil.

The basis of this study corresponds to using Risk Management and Evaluation as a tool for the control of the quality of water for human consumption and operation of water distribution networks. The need for developing and implementing a new way to control the quality of water intended for human consumption is identified and debated in this research due to evident limitations of the current “Final Product Analysis” in assuring reliability of the water distributed to the population. In 2004, the World Health Organization - WHO presented a comprehensive proposal for water quality control denominated WSP, Water Safety Plan, in which a systematic process for identifying hazards, management procedures, and risk control is indicated. According to WHO, the greatest benefits of developing plans such as this one are systematization, detailed evaluation, and prioritizing hazards, besides the operational monitoring through the multi-barrier control. The objective of this research is to discuss the use of risk evaluation in water distribution networks and in the control of the quality of water for human consumption. The application of risk management and evaluation concepts in water distribution networks was investigated. Therefore, it was possible to identify and characterize relevant variables, which enabled to define criteria and parameters in order to develop a methodology to evaluate the microbiological risk in water distribution networks based on the studies of Godfrey *et al.* (2004) and Tibatemwa (2003). The assessment and validation of the measures proposed were done through the analysis of a case study conducted in a water supply station in Itatinga, a small town located in the province of São Paulo state. The methodology proposed allowed a thorough investigation of the management of water distribution networks, identified risks, and mainly it made possible to quantify those risks. Having evaluated the risks, the synergistic effect of some operations, such as the substitution of pipes associated with high risk, could be observed using the model. The methodology proved efficient at identifying and characterizing the microbiological risks involved in the operation and control of water quality in water distribution networks.

Keywords: risk, risk assessment, water distribution networks, quality of water.

Sumário

Resumo	iii
Abstract	iv
1. Introdução	01
1. 1 Estrutura da Tese	04
2. Proposta e Relevância do Tema	06
3. Objetivos	07
3.1 Objetivo Precípua	08
3.2 Objetivos Específicos	08
3.3 Hipótese	08
4. Revisão Bibliográfica	09
4.1 Águas – algumas definições	09
4.2 Fundamentos da segurança da água para consumo humano	13
4.3 Avaliação e Gestão de Riscos	14
4.4 Princípio Multi-Barreiras	15
4.5 O Princípio da Precaução	18
4.6 Estrutura para a segurança da água para consumo humano	20
4.6.1 Metas baseadas nos riscos à saúde	20
4.6.2 Plano de Segurança da Água (PSA)	21
4.6.3 Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano	22
4.7 Saúde Ambiental e Risco	23
4.8 Conceito de Risco	26
4.9 Aspectos Históricos dos Estudos de Risco	30
4.10 Avaliação, Gestão, Comunicação e Análise de Riscos	36
4.10.1 Avaliação de Riscos	36
4.10.1.1 Identificação dos Perigos	38
4.10.1.2 Avaliação da relação dose-resposta	41
4.10.1.3 Avaliação da Exposição	43
4.10.1.4 Caracterização de riscos	45
4.10.2 Gestão de Riscos	47
4.10.3 Comunicação de Riscos	49

Sumário

4.10.4	Análise de Riscos	52
4.10.4.1	Técnicas usadas na Análise de Riscos	54
4.10.5	Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE)	54
4.10.6	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)	56
4.10.6.1	Os sete princípios da APCC	58
4.10.6.2	Análise de Perigos e Pontos de Controle (APPCC), aplicada ao controle da qualidade da água para consumo humano	60
4.11	Plano de Segurança da Água	62
4.11.1	Sistema de Avaliação	66
4.11.1.1	Priorização de riscos para controle	67
4.11.2	Medidas de controle	68
4.11.3	Monitoramento	69
4.11.4	Determinação de medidas de controle do sistema	70
4.11.5	Seleção de parâmetros de monitoramento operacional	70
4.11.6	Limites Operacionais e Limites Críticos	73
4.11.7	Verificação	73
4.11.7.1	Verificação da Qualidade Microbiológica	74
4.11.7.2	Verificação da Qualidade Química	75
4.12.8	Gestão dos sistemas de abastecimento de água	76
4.11.8.1	Incidentes previsíveis (“desvios”)	78
4.11.8.2	Eventos não-prevíveis	78
4.11.8.3	Emergências	78
4.11.8.4	Ordem para fechar o sistema, restringir o uso ou ferver a água	79
4.11.9	Preparação de um plano de monitoramento	80
4.11.10	Programas de apoio	80
4.11.11	Documentação e comunicação	82
4.12	Fontes e tipos de riscos	83
4.13	Risco microbiológico	87
4.13.1	Risco microbiológico e risco químico	89
4.14	Risco à saúde	94
4.15	Riscos ambientais à saúde	97

Sumário

4.16 Doenças atribuídas aos riscos ambientais	104
4.16.1 Carga de doenças da população	104
4.16.2 Fatores de risco	109
4.16.3 Fatores ambientais de risco	114
4.17 O Abastecimento de água, o esgotamento sanitário e a higiene como fatores de risco	120
4.17.1 Breve histórico	120
4.17.2 A água como veículo de transmissão de doenças	128
4.17.3 Aspectos epidemiológicos do papel do ambiente na transmissão de doenças	130
4.17.3.1 Fonte	131
4.17.3.2 Novo hospedeiro	132
4.17.3.3 Ambiente	132
4.17.3.4 A sobrevivência do agente	133
4.17.4 Classificação das infecções relacionadas a água	137
4.18 Sistema de Distribuição de Água	166
4.18.1 Introdução	166
4.18.2 Integridade do sistema de distribuição de água	171
4.18.3 Componentes de um sistema de distribuição de água	172
4.19 Rede de distribuição de água	173
4.19.1 Introdução	173
4.19.2 Características das redes de distribuição de água	173
4.19.3 Componentes das redes de distribuição de água	177
4.19.3.1 Tubulações	177
4.19.3.2 Dispositivos usados em redes de distribuição	177
4.19.4 Tipos de redes de distribuição de água	180
4.19.5 Configuração das redes de distribuição de água	181
4.19.5.1 Rede ramificada	181
4.19.5.2 Rede Malhada	181

Sumário

4.19.5.3 Rede Mista	182
4.19.6 Regime de fornecimento aos prédios	182
4.19.6.1 Regime com regularização da água	182
4.19.6.2 Regime sem regularização da água	183
4.19.6.3 Regime misto	183
4.19.7 Domínios públicos e privados	183
4.19.8 Redes de distribuição de água simples e dupla	184
4.19.9 Locação das tubulações	186
4.19.9.1 Localização da rede de distribuição de água em relação a fontes de contaminação	187
4.19.9.2 Localização dos condutos principais	191
4.19.10 Setores de abastecimento, de medição, de manobra e zona de abastecimento	194
4.19.10.1 Setor de abastecimento	194
4.19.10.2 Zona de abastecimento ou de pressão	194
4.19.10.3 Setor de medição	195
4.19.10.4 Setor de manobra	198
4.19.11 Efeitos potenciais da setorização das redes de distribuição	199
4.19.11.1 Efeitos benéficos da setorizações	199
4.19.11.2 Efeitos deletérios da setorização	200
4.19.12 Vazão nas redes de distribuição de água	201
4.19.13 Pressões nas redes de distribuição de água	206
4.19.14 Velocidades mínimas e máximas e diâmetro mínimo	211
4.19.14.1 Diâmetro mínimo	215
4.19.15 Hidráulica das redes de distribuição de água	216
4.19.15.1 Introdução	216
4.19.15.2 Métodos de dimensionamento das redes	218
4.19.16 Tópicos a serem observados em projetos de rede de distribuição de água	219

Sumário

4.19.17 Práticas recomendadas para o operação de redes de distribuição de água	221
4.20 Qualidade da água em sistemas de distribuição	225
4.20.1 Qualidade microbiológica das águas em sistemas de distribuição	225
4.20.1.1 Microrganismos em sistemas de distribuição de água	226
4.20.2 Controle da qualidade microbiológica da água em sistemas de distribuição	236
4.20.2.1 A estabilidade do desinfetante durante a distribuição da água	237
4.20.2.2 Monitoramento microbiológico dos sistemas de distribuição de água	240
4.20.2.3 Parâmetros microbiológicos usados no controle da qualidade da água	245
4.20.2.3.1 Coliformes totais	245
4.20.2.3.2 <i>E. coli</i> e coliformes termotolerantes	245
4.20.2.3.3 Contagem de bactérias heterotróficas	246
4.20.3 Problemas de qualidade de água em sistemas de distribuição	247
4.20.3.1 Conexões cruzadas e retrossifonagem	248
4.20.3.2 Reparos e implantação de novas tubulações	249
4.20.3.3 Deficiências na reservação de água tratada	250
4.20.3.4 Crescimento microbiano e formação de biofilmes	252
4.20.3.5 Deficiências na operação e manutenção de SDAs	253
4.20.3.6 Lixiviação e vazamentos	254
4.20.3.7 Intrusão de contaminantes	255
4.20.3.8 Infiltração	257
4.20.4 Indicadores da qualidade da água distribuída	258
4.20.4.1 Vias que rompem a integridade do sistema de distribuição	259
4.20.4.1.1 Contaminação do sistema de distribuição	260
4.20.4.2 Indicadores	262

Sumário

4.21 Planos de Segurança da Água aplicados a sistemas de distribuição de água	262
4.21.1 Reunião de equipe	266
4.21.2 Análise e descrição do sistema	266
4.21.2.1 Descrição do sistema de abastecimento de água	266
4.21.2.2 Descrição do sistema de distribuição de água	268
4.21.2.3 Setorização do sistema de distribuição de água	270
4.21.2.4 Identificação dos usos dados à água e a suscetibilidade da população consumidora	270
4.21.2.5 Análise e desempenho do sistema de distribuição de água	271
4.21.3 Descrição do ambiente no entorno do sistema de distribuição de água	272
4.21.4 Desenvolvimento de instrumentos para avaliação de campo	273
4.21.5 Inspeção no sistema	274
4.21.6 Avaliação de riscos em redes de distribuição de água	276
4.21.6.1 Conceitos de perigo e risco aplicado à rede de distribuição de água	277
4.21.6.2 Identificação de perigos e eventos perigosos	285
4.21.6.3 Caracterização da vulnerabilidade da rede de distribuição de água	289
4.21.6.4 Descrição da suscetibilidade dos usuários do serviço de abastecimento de água	298
4.21.6.5 Métodos de avaliação de risco	299
4.21.7 Mapas de risco	307
4.21.8 Determinação de medidas de controle	308
4.21.9 Monitoramento da rede de distribuição de água	312
4.21.9.1 Monitoramento operacional	312
4.21.9.2 Monitoramento para verificação	328
4.21.9.3 Monitoramento para validação	329
4.21.10 Programas de apoio e procedimentos de gestão	330
4.21.11 Documentação	331
5. Metodologia	338
5.1 Introdução	338

Sumário

5.2 Descrição da comunidade de Itatinga	339
5.3 Método proposto para avaliação de risco em rede de distribuição de água	364
5.3.1 Descrição geral do sistema de abastecimento de água	345
5.3.1.1 Descrição e análise do sistema de distribuição de água	345
5.3.1.2 Identificação dos usos dados à água	345
5.3.1.3 Análise do desempenho da rede de distribuição de água	346
5.3.1.4 Descrição do ambiente no entorno das redes de distribuição de água	347
5.3.2 Avaliação de riscos em redes de distribuição de água	348
5.3.2.1 Avaliação de fontes e ambientes perigosos	349
5.3.2.1.1 Fontes de perigo	350
5.3.2.1.2 Ambientes Perigosos	354
5.3.2.1.3 Corrosividade do solo	354
5.3.2.2 Avaliação da vulnerabilidade da rede de distribuição de água	356
5.3.2.2.1 Vulnerabilidade física	357
5.3.2.2.2 Vulnerabilidade hidráulica	363
5.3.2.2.3 Vulnerabilidade da qualidade da água	366
5.3.2.2.4 Suscetibilidade	371
5.3.2.3 Ponderação de riscos	372
5.3.2.4 Desenvolvimento da matriz de risco	375
5.3.3 Elaboração do mapa de risco	375
5.3.4 Priorização dos riscos	376
6. Resultados e discussão	378
6.1 Introdução	378
6.2 Descrição do sistema de abastecimento de água	378
6.2.1 Descrição do sistema de distribuição de água	379
6.2.2 Identificação dos usos que é dado a água	384
6.2.3 Análise do desempenho da rede de distribuição de água	392
6.2.3.1 Aspecto operacional	395
6.2.3.2 Aspecto hidráulico	401

Sumário

6.2.3.3 Aspecto sanitário	410
6.2.4 Descrição do ambiente no entorno das redes de distribuição de água	423
6.2.4.1 Sistema de esgoto sanitário	425
6.2.4.2 Áreas não atendidas com rede coletora de esgoto	426
6.2.4.3 Áreas sujeitas a inundação	428
6.2.4.4 Corrosividade do solo	428
6.3 Avaliação de perigos em redes de distribuição de água	428
6.3.1 Avaliação de fontes e ambientes perigosos	429
6.3.2 Avaliação da vulnerabilidade da rede de distribuição de água	430
6.3.3 Avaliação da suscetibilidade da população abastecida	431
6.3.4 Ponderação dos riscos	431
6.3.5 Matriz de risco	431
6.3.6 Mapa de risco	443
7. Conclusões	445
8. Bibliografia	451
9. Adendos	485
Adendo A – Esquema Hidráulico da rede de distribuição de água de Itatinga.	485
Adendo B – Resultados da aplicação do programa computacional EPANET	487
Adendo C – Matriz de Risco – fator; fontes e ambientes Perigosas	498
Adendo D – Matriz de Risco – fator: Vulnerabilidade da rede de distribuição de água	515
Adendo E – Matriz de Risco – fator: Suscetibilidade da População	548
Adendo F – Aplicação do Método da Análise Hierárquica - Resultados	559
Adendo G – Resumo das Matrizes de Risco	567
Adendo H – Mapa de Risco da Rede de Distribuição de Água	578
10. Anexo – Distribuição dos países conforme regiões e sub-regiões da Organização Mundial da Saúde.	579

Lista de Figuras

Figura 4.1 -	Abordagem de gestão de risco “do manancial até o consumidor segurança da água para consumo humano	14
Figura 4.2	Estrutura para a Segurança da Água	21
Figura 4.3	Seqüência de eventos perigosos	29
Figura 4.4	Etapas da Avaliação e Gestão de Riscos	37
Figura 4.5	Estrutura proposta para a Gestão de Risco	49
Figura 4.6	Formulário para Análise de Modos e Falhas e Efeitos	55
Figura 4.7	Diagrama de Procedimentos para Identificação dos Pontos Críticos de Controle	59
Figura 4.8	Plano de Segurança da Água	64
Figura 4.9	Vias de transmissão e exemplos de agentes patogênicos relacionados à água	88
Figura 4.10	Diagrama de fluxo genérico para fontes de riscos microbiológicos relacionadas à água para consumo humano	92
Figura 4.11	Arvore de Falhas, genérica, para poluição de manancial de água para consumo humano devidos a chuvas	93
Figura 4.12	Estrutura causa- efeito em saúde ambiental	101
Figura 4.13	Cadeia de interação envolvida no processo saúde-doença das patologias de transmissão ou origem hídrica	102
Figura 4.14	Carga ambiental de doenças segundo regiões da OMS	116
Figura 4.15	Doenças com contribuições ambientais mais altas	117
Figura 4.16	Principais doenças que contribuem para a carga ambiental doenças para a população total	118
Figura 4.17	Principais doenças contribuintes para a carga ambiental de doenças entre crinaças de 0 a 14 anos de idade	119
Figura 4.18	Esquema conceitual dos efeitos diretos e indiretos do abastecimento de água e esgotamento sanitário sobre a saúde	126
Figura 4.19	Representação esquemática dos processos gerais de Transmissão	135
Figura 4.20	Modalidades de transmissão via contaminação ambiental	137

Lista de Figuras

Figura 4.21	Vias de transmissão de doenças feco-oral	139
Figura 4.22	Seqüência Potencial para disposição dos esgotos domésticos	159
Figura 4.23	Tempo de coleta e transporte da água em relação ao consumo de Água	162
Figura 4.24	Esquema de um sistema de abastecimento de água	167
Figura 4.25	Surtos de doenças relacionadas com a água em sistemas de abastecimento comunitários nos Estados Unidos	170
Figura 4.26	Esquema de uma rede ramificada	181
Figura 4.27	Esquema de uma rede malhada com anéis ou malhas	182
Figura 4.28	Limite entre os domínios públicos e privados	185
Figura 4.29	Subdivisão de rede em setores de medição e de manobra	196
Figura 4.30	Gestão para redução da pressão em sistemas de distribuição de água	207
Figura 4.31	Interações tróficas em sistemas de distribuição de água	226
Figura 4.32	Fatores que influenciam alterações microbiológicas nos sistemas de distribuição de água	234
Figura 4.33	Fluxograma do sistema de abastecimento de água de Silvan	267
Figura 4.34	Fatores associados à avaliação de riscos em redes de distribuição de água	285
Figura 4.35	Modelo de contaminação FONTE – MEIO – RECEPTOR	287
Figura 4.36	Exemplo do Modelo de contaminação FONTE – MEIO – RECEPTOR	288
Figura 4.37	Durabilidade da tubulação em função dos materiais	292
Figura 4.38	Componentes Principais da Avaliação de Risco Integrada – Sistema de Distribuição de Água – IRA – WDS	306
Figura 5.1	Etapas da Avaliação de Perigos microbiológicos usados neste estudo	341
Figura 5.2	Metodologia de Avaliação de Risco proposta nesta pesquisa	343
Figura 5.3	Estrutura dos indicadores usados para a avaliação de risco da rede de distribuição de água de Itatinga	344

Lista de Figuras

Figura 5.4	Distância horizontal entre a rede de distribuição de água e a rede coletora de esgoto (L)	352
Figura 5.5	Distância vertical entre a rede de distribuição de água e a rede coletora de esgoto (H)	353
Figura 5.6	Escala de valores de vulnerabilidade associada as pressões nas tubulações da rede	365
Figura 5.7	Crítérios para pontuação de perigos relacionados as pressões encontradas na rede de distribuição	366
Figura 5.8	Residual mínimo de cloro livre para ação bactericida	368
Figura 5.9	Pontuação de perigos relacionados ao Residual de Cloro Livre e pH	369
Figura 5.10	Procedimento para obtenção dos pesos relativos para cada fator, variável e sub-variável de risco.	374
Figura 5.11	Escala para priorização de perigos	376
Figura 6.1	Esquema do Sistema de Abastecimento de Água de Itatinga	380
Figura 6.2	Evolução dos casos de diarreia verificados na população do município de Itatinga durante o ano de 2008.	388
Figura 6.3	Distribuição da População, segundo Grupos do Índice Paulista de vulnerabilidade Social – IPVS – Estado de São Paulo e Município de Itatinga	390
Figura 6.4	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) aplicado sobre os setores censitários do IBGE.	393
Figura 6.5	Cronologia provável de implantação das redes de distribuição de água existentes na cidade de Itatinga	394
Figura 6.6	Localização dos vazamentos na rede de distribuição de água de Itatinga em 2008.	399
Figura 6.7	Localização dos pontos de descarga da rede de distribuição de água em Itatinga em 2008.	402
Figura 6.8	Localização das zonas de abastecimento de água de Itatinga em 2008.	405

Lista de Figuras

Figura 6.9	Localização dos imóveis onde foram feitas reclamações quanto a falta de água em Itatinga.	408
Figura 6.10	Localização dos pontos de coleta de amostras de água na rede de distribuição em Itatinga em 2008.	412
Figura 6.11	Localização dos imóveis dos quais foram feitas reclamações quanto à qualidade da água em Itatinga 2008.	424
Figura 6.12	Rede coletora de esgoto de Itatinga em 2008.	427
Figura 6.13	Vulnerabilidade social considerada para Itatinga em 2008.	432
Figura 6.14	Estrutura das variáveis usadas para avaliação de risco da rede de distribuição de água de Itatinga	433
Figura 6.15	Distribuição dos valores de perigos segundo zonas de abastecimento	436
Figura A-1	Esquema Hidráulico da rede de distribuição de água de Itatinga	485
Figura A-2	Mapa de Risco da rede de distribuição de água de Itatinga	577

Lista de Quadros

Quadro 4.1	Barreiras sanitárias em sistemas de abastecimento de água	17
Quadro 4.2	Definições de risco	28
Quadro 4.3	Processo global de avaliação e gerenciamento de riscos	38
Quadro 4.4	Tabela de parâmetros dose-resposta para humanos	44
Quadro 4.5	Exemplo de uma matriz simples de escalas e classificação de riscos.	68
Quadro 4.6	Exemplos de definições de classes de probabilidade e severidade que podem ser usadas como escala de risco	69
Quadro 4.7	Exemplos de parâmetros operacionais que podem ser usados para monitorar as medidas de controle	71
Quadro 4.8	Operacionalização da “Estrutura de Causa e Efeito para as ações de Saúde e Ambiente” na vigilância da qualidade da água para consumo humano	103
Quadro 4.9	Classes de incapacidades e indicadores de doenças	106
Quadro 4.10	Causas principais de morte e cargas de doenças para 1990	107
Quadro 4.11	Causas principais de morte e estimativa de carga de doenças para 1998	108
Quadro 4.12	Causas DALYs para regiões desenvolvidos e em desenvolvimento segundo dados de 1990	109
Quadro 4.13	Carga global de doenças e danos atribuíveis a fatores de riscos selecionados para 1990	111
Quadro 4.14	Fatores de risco ambiental e doenças relacionadas	114
Quadro 4.15	Valores indicativos para frações atribuíveis a fatores de risco ambiental em relação a doenças ou riscos específicos	115
Quadro 4.16	Descoberta de organismos patogênicos	122
Quadro 4.17	Contribuições da saúde ambiental para ODMs	128
Quadro 4.18	Estratégias de prevenção apropriadas para cada via de transmissão	141
Quadro 4.19	Classificação ambiental das infecções relacionadas com a água	142

Lista de Quadros

Quadro 4.20	Mecanismos de transmissão de doenças relacionadas com as excretas	143
Quadro 4.21	Classificação ambiental das infecções relacionads com as excretas	144
Quadro 4.22	Potencial para controlar infecções relacionadas as Excretas através de melhorias no saneamento e higiene pessoal	147
Quadro 4.23	Infecções relacionadas com a Década Internacional do do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário e o Impacto das medidas de controle para a saúde pública.	149
Quadro 4.24	Comparação entre as tecnologias para o esgotamento sanitário	157
Quadro 4.25	Nível de serviço de água e requisitos para promover a saúde	160
Quadro 4.26	Consumo médio de água Jinja, Uganda	163
Quadro 4.27	Custos indicativos para principais unidades de sistemas de abastecimento de água	169
Quadro 4.28	Características das principais tubulações usadas na distribuição de água	178
Quadro 4.29	Profundidade mínima para assentamento de RDA	187
Quadro 4.30	Consumos per capita segundo vários órgãos	202
Quadro 4.31	Densidades demográficas e extensões médias de arruamentos por hectare estimados para a região metropolitana de São Paulo	205
Quadro 4.32	Resumo dos requerimentos de pressão	209
Quadro 4.33	Valores máximos de velocidade da água em tubulação de redes de distribuição	212
Quadro 4.34	Velocidades máximas em função do diâmetro da rede de distribuição	214
Quadro 4.35	Diâmetro mínimo segundo a norma NTE-IFA	216
Quadro 4.36	Rotinas e serviços de manutenção de rotina a serem aplicados em redes de distribuição de água	224

Lista de Quadros

Quadro 4.37	Priorização dos problemas encontrados em sistemas de distribuição de água	248
Quadro 4.38	Indicadores Microbiológicos	263
Quadro 4.39	Indicadores Químicos	264
Quadro 4.40	Outros Indicadores	265
Quadro 4.41	Critério para seleção de pontos de inspeção	275
Quadro 4.42	Exemplo de matriz de pontuação simples para classificação de riscos por ordem de importância	279
Quadro 4.43	Exemplo de matriz de pontuação simples para classificação de riscos por ordem de importância	280
Quadro 4.44	Descritores usados para definições de riscos e gravidade	280
Quadro 4.45	Fatores ligados a vulnerabilidade inerente e meios de mensuração	282
Quadro 4.46	Fatores ligados a vulnerabilidade variável e meios de mensuração	282
Quadro 4.47	Agentes patogênicos na água de consumo humano	284
Quadro 4.48	Indicadores de Vulnerabilidade	291
Quadro 4.49	Risco atribuído a idade das tubulações do SAA de Kampala	293
Quadro 4.50	Risco devido aos materiais das tubulações	297
Quadro 4.51	Indicadores adicionais	298
Quadro 4.52	Pontuação de risco em função da população	303
Quadro 4.53	Matriz de pontuação semi-quantitativa de riscos	304
Quadro 4.54	Pontuação de perigo conforme o ponto de amostragem	305
Quadro 4.55	Exemplos de medidas de controle	311
Quadro 4.56	Tipos de monitoramento de sistemas de distribuição de água	312
Quadro 4.57	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a pressão	313
Quadro 4.58	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a pressão	314

Lista de Quadros

Quadro 4.59	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a pressão	315
Quadro 4.60	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a pressão	316
Quadro 4.61	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a operação	317
Quadro 4.62	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a operação	318
Quadro 4.63	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a operação	319
Quadro 4.64	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a operação	320
Quadro 4.65	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a operação	321
Quadro 4.66	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a operação	322
Quadro 4.67	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a operação	323
Quadro 4.68	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a biofilmes	324
Quadro 4.69	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a biofilmes	325
Quadro 4.70	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a biofilmes	326
Quadro 4.71	Medidas preventivas e corretivas para serem tomadas em redes de distribuição de água relacionadas a biofilmes	327
Quadro 4.72	Exemplo de verificação para calibração de equipamentos	329
Quadro 4.73	Exemplo de plano de contingência	332
Quadro 4.74	Exemplo de plano de contingência	333
Quadro 4.75	Exemplo de plano de contingência	334

Lista de Quadros

Quadro 4.76	Avaliação de desempenho de um PSA – Pressões no sistema	335
Quadro 4.77	Avaliação de desempenho de um PSA – Operação do sistema	336
Quadro 4.78	Resumo dos requerimentos de um PSA	337
Quadro 5.1	Categorias e pontuação adotadas para os perigos e riscos	350
Quadro 5.2	Critérios para pontuação da variável fonte de perigo – soluções coletivas, em função do diâmetro e material da rede coletora de esgoto e sua distância horizontal em relação rede de distribuição de água.	352
Quadro 5.3	Critérios para pontuação da variável fonte de perigo – soluções coletivas, em função do diâmetro e material da rede coletora de esgoto e sua distância vertical em relação rede de distribuição de água.	353
Quadro 5.4	Critérios para pontuação da variável fonte de perigo – soluções individuais, em função do tipo de solução de esgotamento adotado e a distância horizontal, em relação a rede de distribuição de água.	354
Quadro 5.5	Critérios para pontuação da variável ambientes perigosos	355
Quadro 5.6	Critérios para pontuação de perigos associados a corrosão externa	355
Quadro 5.7	Variáveis usadas para a avaliação da vulnerabilidade da rede	356
Quadro 5.8	Critérios para pontuação de perigos associados a falhas nas tubulações	358
Quadro 5.9	Critérios para pontuação de perigos associados a rugosidade da parede dos tubos	358
Quadro 5.10	Critério para pontuação para a variável formação do biofilme nas Paredes dos tubos	359
Quadro 5.11	Critérios de pontuação para a variável consumo de cloro em tubulações	359
Quadro 5.12	Resumo da pontuação dos perigos segundo as variáveis que foram usadas para caracterizar os materiais das tubulações	360

Lista de Quadros

Quadro 5.13	Critérios para pontuação da variável diâmetros das tubulações	360
Quadro 5.14	Critérios para pontuação de perigos associados ao comprimento dos tubos	361
Quadro 5.15	Relação entre material e idade da tubulação	362
Quadro 5.16	Critérios para pontuação de perigos em função da idade da Tubulação	362
Quadro 5.17	Critérios para pontuação de perigos associados a variável vazamentos durante o ano de 2008	364
Quadro 5.18	Critérios para pontuação de perigos associados a perda de água no sistema	364
Quadro 5.19	Critérios para pontuação de perigos associados a turbidez da água encontrada na rede de distribuição	367
Quadro 5.20	Critérios para pontuação de perigos relacionados as variáveis coliformes Totais e <i>E. coli</i>	370
Quadro 5.21	Associação entre vulnerabilidade social e suscetibilidade	373
Quadro 5.22	Escala Fundamental de Saaty para comparação entre pares de variáveis	375
Quadro 5.23	Escala adotada para priorização dos riscos	377
Quadro 6.1	Fontes de Informação usadas na análise do desempenho do sistema de distribuição de água de Itatinga	392
Quadro 6.2	Comportamento hidráulico observado na rede de distribuição de água de Itatinga.	406
Quadro 6.3	Fontes de contaminação não consideradas neste estudo	425
Quadro 6.4	Áreas passíveis de intervenção que visem diminuir risco Na rede de distribuição de água de Itatinga – 2008.	442
Quadro Ax-1	Distribuição mundial dos países conforme regiões e sub-regiões da Organização Mundial da Saúde.	575

Lista de Tabelas

Tabela 6.1	Dados operacionais do sistema de abastecimento de água de Itatinga – 2008	379
Tabela 6.2	Características físicas dos reservatórios – Itatinga – 2008.	381
Tabela 6.3	Distribuição das economias segundo as zonas de Abastecimento – Itatinga – 2008.	381
Tabela 6.4	Distribuição dos diâmetros e tubulações conforme material e Zona de abastecimento – Itatinga – 2008.	382
Tabela 6.5	Local e tipo de assentamento da rede de distribuição de água de Itatinga	383
Tabela 6.6	Produção e consumo de água no SAA –Itatinga – 2008	385
Tabela 6.7	Casos de diarreia aguda ocorridos em Itatinga em 2008 segundo faixa etária e plano de tratamento	386
Tabela 6.8	Indicadores que Compõem o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS para o Município de Itatinga 2000	389
Tabela 6.9	Solicitações de Serviços examinadas neste estudo – Itatinga - 2008.	395
Tabela 6.10	Serviços de interesse para este estudo	395
Tabela 6.11	Distribuição das intervenções em vazamentos na rede E ligações de água	396
Tabela 6.12	Distribuição das intervenções segundo as zonas de abastecimento – Itatinga - 2008.	397
Tabela 6.13	Taxa de reparos nas ligações por economias de água para cada zona de abastecimento.	397
Tabela 6.14	Distribuição dos vazamentos segundo o tipo de material da rede e as zonas de abastecimento.	398
Tabela 6.15	Número de vazamentos segundo o tipo de material da rede por 1.000 metros de rede existente – Itatinga - 2008.	398
Tabela 6.16	Vazamentos segundo a zona de abastecimento e o diâmetro das tubulações.	400

Lista de Tabelas

Tabela 6.17	Número de vazamentos segundo o diâmetro da rede por 1.000 metros de rede existente – Itatinga - 2008.	400
Tabela 6.18	Descargas em pontos da rede de distribuição de água de Itatinga realizadas durante o ano de 2008.	403
Tabela 6.19	Reclamações sobre falta de água – Itatinga – 2008.	407
Tabela 6.20	Causa informada pela SABESP para a falta de água – Itatinga – 2008.	407
Tabela 6.21	Material da rede em que ocorre falta de água	409
Tabela 6.22	Diâmetro da rede em que ocorre falta de água	410
Tabela 6.23	Número de amostras prescritas na legislação sanitária e amostras analisadas pela SABESP na saída da ETA para 2008.	411
Tabela 6.24	Número de amostras prescritas na legislação sanitária e amostras analisadas pela SABESP na rede de distribuição de água para 2008.	411
Tabela 6.25	Distribuição dos pontos de coleta – SABESP - segundo zonas de abastecimento.	413
Tabela 6.26	Resultado dos exames bacteriológicos para coliformes totais e <i>E. coli</i> – SABESP – Itatinga – 2008.	414
Tabela 6.27	Resultado das análises laboratoriais para Turbidez – SABESP - Itatinga – 2008.	415
Tabela 6.28	Resultado das análises Físico – Química para Cloro Residual livre – SABESP – Itatinga – 2008.	416
Tabela 6.29	Resultado das análises Físico – Química para pH – SABESP – Itatinga – 2008.	417
Tabela 6.30	Distribuição dos pontos de coleta segundo zonas de abastecimento pela SABESP.	418
Tabela 6.31	Resultado Bacteriológico de amostras de água colhidas pela vigilância Sanitária para Coliformes Totais e <i>E. coli</i>	419
Tabela 6.32	Resultado das análises físico – Química realizadas pela vigilância Sanitária para Turbidez.	420

Lista de Tabelas

Tabela 6.33	Resultado das análises físico – Química realizadas pela vigilância Sanitária para Cloro Residual Livre	421
Tabela 6.34	Resultado das análises físico – Química realizadas pela vigilância Sanitária para pH	422
Tabela 6.35	Reclamações de consumidores quanto a qualidade da água distribuída pela SABESP.	423
Tabela 6.36	Dados operacionais do Sistema de Esgoto Sanitário de Itatinga – 2008.	426
Tabela 6.37	Distribuição dos valores de risco segundo as zonas de abastecimento.	435
Tabela 6.38	Distribuição dos valores de risco segundo fatores de risco avaliados e zonas de abastecimento	435
Tabela 6.39	Valores de perigos para as variáveis relacionadas ao fator de risco fontes e ambientes perigosos	437
Tabela 6.40	Valores de perigos para as variáveis relacionadas ao fator de risco vulnerabilidade da rede.	438
Tabela 6.41	Percentual do fator de risco suscetibilidade sobre o risco total	441
Tabela B-1	Resultado da simulação no EPANET da rede de distribuição da água da zona baixa-1.	489
Tabela B-2	Resultado da simulação no EPANET da rede de distribuição da água da zona alta-1.	495
Tabela B-3	Resultado da simulação no EPANET da rede de distribuição da água da zona baixa-2.	498
Tabela B-4	Resultado da simulação no EPANET da rede de distribuição da água da zona alta-2.	498
Tabela C-1	Matriz de risco – fator fontes e ambientes perigosos – resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1	500
Tabela C-2	Matriz de risco – fator fontes e ambientes perigosos – resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-1	509

Lista de Tabelas

Tabela C-3	Matriz de risco – fator vulnerabilidade da rede– resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-2	513
Tabela C-4	Matriz de risco – fator vulnerabilidade da rede– resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-2	514
Tabela D-1	Matriz de risco – fator vulnerabilidade física da rede– resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1	516
Tabela D-2	Matriz de risco – fator vulnerabilidade física da rede– resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-1	524
Tabela D-3	Matriz de risco – fator vulnerabilidade física da rede– resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-2	527
Tabela D-4	Matriz de risco – fator vulnerabilidade física da rede– resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-2	527
Tabela D-5	Matriz de risco – fator vulnerabilidade hidráulica resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1	528
Tabela D-6	Matriz de risco – fator vulnerabilidade hidráulica resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-1	534
Tabela D-7	Matriz de risco – fator vulnerabilidade hidráulica resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-2	537
Tabela D-8	Matriz de risco – fator vulnerabilidade hidráulica resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-2	537

Lista de Tabelas

Tabela D-9	Matriz de risco – fator vulnerabilidade da qualidade da água resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1	538
Tabela D-10	Matriz de risco – fator vulnerabilidade da qualidade da água resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-1	544
Tabela D-11	Matriz de risco – fator vulnerabilidade da qualidade da água resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-2	547
Tabela D-12	Matriz de risco – fator vulnerabilidade da qualidade da água resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-2	547
Tabela E-1	Matriz de risco – fator suscetibilidade da população– resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1	549
Tabela E-2	Matriz de risco – fator suscetibilidade da população– resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-1	555
Tabela E-3	Matriz de risco – fator suscetibilidade da população– resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-2	558
Tabela E-4	Matriz de risco – fator suscetibilidade da população– resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-2	558
Tabela G-1	Matriz de risco da rede de distribuição de água de Itatinga – Resumo – zona baixa -1	568
Tabela G-2	Matriz de risco da rede de distribuição de água de Itatinga – Resumo – zona alta -1	574
Tabela G-3	Matriz de risco da rede de distribuição de água de Itatinga – Resumo – zona baixa -2	577

Lista de Tabelas

Tabela G-4	Matriz de risco da rede de distribuição de água de Itatinga – Resumo – zona alta -2	577
------------	--	-----

Lista de Siglas e Abreviaturas

AAB	Adutora de Água Bruta
AAE	Avaliação de Árvores de Eventos
AAF	Análise de Árvores de Falhas
AAT	Adutora de Água Tratada
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACC	Análise de Causas e Consequências
ACGHI	<i>American Conference Governamental Higienist Industrial</i>
ADB	Análise por Diagramas de Blocos
AHP	Análise Multi-Critério
AIDS	Síndrome da Imunodeficiência Adquirida
ALL	América Latina Logística S.A.
AMFE	Análise de Modos de Falhas e Efeitos
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOC	Carbono Orgânico Assimilável
AP	Análise de Perigos
APP	Análise Preliminar de Perigos
APPCC	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle
ARA	Avaliação de Risco Ambiental
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATP	Adenosina Tri-Fosfato
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
AWWARF	<i>American Water Works Association_Research Foundation</i>
BDOC	Carbono Orgânico Dissolvido Biodegradável
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
CAG	Carvão Ativado Granular
CBH	Contagem de Bactérias Heterotróficas
CE	Comunidade Européia
CETESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CCME	<i>Canadian Council of Minister of the Environment</i>

Lista de Siglas e Abreviaturas

CDC	Centro de Controle e Prevenção de Doenças
CNOS	Companhia Nacional de Obras de Saneamento
COA	Carbono Orgânico Assimilável
CPC	Consumo <i>per capita</i>
CR	Taxa de Consistência
CRA	<i>Comparative Risk Assessment</i>
CVS	Centro de Vigilância Sanitária
DAE	Departamento de Águas e Esgoto
DALY	Anos Ajustados de Vida Perdidos
DAS	Sistema de Distribuição de Água
DFID	<i>Departament for International Development</i>
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
DRP	Dispositivo Redutor de Pressão
DST	Doença Sexualmente Transmissível
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
EES	<i>Economic and Engineering Services, Inc.</i>
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
EPANET	Programa Computacional desenvolvido pela EPA
EPAT	Estação Pressurizadora de Água Tratada
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FDA	<i>Food And Drug Agency</i>
FMEA	<i>Faiture Modes and Effects Analysis</i>
FPEEEA	Forças Motrizes, Pressão, Estado, Exposição, Efeitos e Ação
FTA	Análise de Árvore de Falhas
FMI	Fundo Monetário Internacional

Lista de Siglas e Abreviaturas

FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
HACCP	<i>Hazard Analysis and Critical Control Point</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability Studies</i>
HIV	Vírus da Imunodeficiência Humana
IBC	Instituto Brasileiro do Café
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDR	Instituto de Doenças Renais
IP	Índice de Perdas
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo
IPVS	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social
IRA-WDS	<i>Integrate Risk Assessment-Water Distribution System</i>
ISSO	<i>International Standardization Organization</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil da Universidade do Minho – Portugal
MDG	<i>Millennium Development Goals</i> – ver também MDM
MDM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
MORT	<i>Management Oversight and Risk Tree</i>
NACMCF	<i>National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods</i>
NA	Nível Água
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NAS	<i>National Academy of Science</i>
NBR	Norma Brasileira
NRC	<i>National Research Council</i>
NTE-IFA	Normas Técnicas
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
ONUSIDA	Programa Conjunto das Nações Unidas para o HIV/SIDA

Lista de Siglas e Abreviaturas

OPS	Organização Pan-Americana de Saúde
PB	Polibuteno
PCC	Pontos Críticos de Controle
Pd	Pressão Dinâmica
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
Pe	Pressão Estática
PE	Polietileno
PMED	Polietileno de Média Densidade
PHA	<i>Preliminary Hazard Analysis</i>
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNB	Projeto de Norma Brasileira
POP's	Procedimentos Operacionais Padrão
PP	Polipropileno
PRFV/JE	Plástico Reforçado com Fibra de Vidro com junta elástica
PRÓ-ÁGUA	Programa de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano
PAH	Processo Analítico de Hierarquização
PSA	Plano de Segurança da Água
PSR	<i>Pressure-State-Response</i>
PVC	Policloreto de Vinila
R	Reservatório
RDA	Rede de Distribuição de Água
RHO	Reservatório Hidropneumático
ROCOP	<i>Rates of Occurrence of Failure</i>
RPVC	Tubo de Plástico Reforçado com Fibra de Vidro em PVC
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAEC	Superintendência de Água e Esgoto da Capital
SDA	Sistema de Distribuição de Água
SDWA	<i>Safe Drinking Water Act</i>

Lista de Siglas e Abreviaturas

SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SIG	Sistema de Informação Georeferenciado
SP	São Paulo
SRA	Sociedade Internacional de Análise de Riscos
SSs	Solicitações de Serviço
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TIC	Técnica de Incidentes Críticos
TRO	Terapia de Reidratação Oral
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
UGRHI	Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
UNESP	Universidade do Estado de São Paulo
UNIÁGUA	Universidade da Água
UNICEF	Fundação das Nações Unidas para Infância
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
URSS	União Soviética
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UV	Ultra-violeta
UKWIR	<i>UK Water Industry Research Limited</i>
VRP	Válvula Redutora de Pressão
VSP	Válvula Sustentadora de Pressão
WHO	<i>World Health Organization</i>
WI	E se (Técnica para Identificação de Risco)
YLD	Anos de Vida Perdidos devido à Incapacidades
YLL	Anos de Vida Perdidos devido à Mortalidade Prematura

Lista de Símbolos

α	Parâmetro de inclinação
a_i	Fator de ponderação
C	Coeficiente de rugosidade (Fórmula de Hazen-Williams)
d_{ij}	Número de casos fatais por classe de idade
d	Dose ingerida
e^*	Esperança média de vida
ε	Coeficiente de rugosidade absoluta
E_i	Vazão concentrada no nó i
γ	Peso específico da água
f	Fator de atrito
h	Carga hidráulica
$H_{i,j}$	Perdas de carga no trecho i - j
k	Constante para infecção por um único microrganismo
L	Comprimento da tubulação da rede
L_j	Duração da doença
N_j	Número de pacientes
N_{50}	Dose infectante mediana
P	Pressão dinâmica
P_i	Probabilidade de infecção
Q	Vazão de água
Q_{ij}	Vazão no trecho entre os nós i - j
$Q_{\max}$	Vazão total da rede para dia e hora de maior consumo
Q_{mon}	Vazão à montante do ponto considerado
Q_{jus}	Vazão à jusante do ponto considerado
R	Número de Reynolds
W_j	Ponderação da severidade da doença
z	Carga de elevação

1. INTRODUÇÃO

Durante muito tempo a qualidade da água esteve associada aos aspectos estéticos e sensoriais, tais como cor, sabor e odor. Somente no final do século XIX e início do século XX a qualidade da água se tornou questão de interesse para a saúde pública.

Os trabalhos do médico inglês John Snow produziram grande avanço na compreensão da relação entre água contaminada e doenças. Em 1855 John Snow por meio de pesquisa *in loco* verificou que uma epidemia de cólera que ocorrera em Londres estava associada a um poço de abastecimento público contaminado por esgoto. Snow com o seu clássico *Sobre a maneira de transmissão do Cólera* marcou o início de uma nova era na análise das condições de saúde e doenças em grupos humanos. Mais tarde, no final do século XIX, a revolução pasteuriana consagrou a “Teoria dos Germes” como uma das mais notáveis contribuições científicas na História da humanidade. Pasteur e seus seguidores consideraram o importante papel do ambiente e propuseram a clássica tríade agente-ambiente-hospedeiro para explicar o processo de transmissão dos microrganismos recém descobertos. Nessa época, os cientistas descobriram, também, que a turbidez não estava relacionada apenas a aspectos estéticos, mas que material particulado presente na água podia conter matéria fecal e abrigar organismos patogênicos.

A partir dessas descobertas científicas, foram feitos grandes esforços para melhorar a qualidade das águas nos sistemas de abastecimento; nos Estados Unidos foram construídos, como estratégia para melhorar a qualidade microbiológica da água, os primeiros sistemas de tratamento com uso da filtração lenta. Em diversos países da Europa e América o uso da desinfecção pelo cloro, permitiu controlar e inativar microrganismos patogênicos e evitar a transmissão de doenças pela água.

As iniciativas de potabilização da água para consumo humano aconteceram antes do estabelecimento de padrões e normas de qualidade. Somente em 1914, uma norma federal americana, elaborada pelo serviço de saúde pública da época, estabeleceu um padrão para a qualidade microbiológica da água. Porém, essa norma – que foi criada para ser aplicada à água produzida por sistema de abastecimento e transportada através de navios e trens para outros Estados – limitava-se a contaminantes capazes de causar doenças contagiosas.

Entre 1950 e 1970, a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou as “Normas Internacionais para a Água Potável”; padrões mínimos de qualidade para a água potável que em todo o mundo serviram como base para monitoramento da qualidade da água produzida e distribuída nos sistemas de abastecimento de água. Em 1969 a OMS e a Comunidade Européia propuseram novo instrumento regulatório para o controle da qualidade da água para consumo humano com a publicação do documento “*Standards of Drinking-Water Quality and Methods of Examination Applicable to European Countries*”. Esta nova abordagem, em 1983 foi estendida em nível mundial com a publicação do documento “*Guidelines for Drinking Water Quality*”. O principal objetivo dessas diretrizes era a proteção da saúde pública e serviram como base para que fossem elaboradas normas nacionais que, devidamente aplicadas, deveriam assegurar a inocuidade da água mediante a eliminação ou redução dos contaminantes nela presentes.

Os valores-guia recomendados não eram limites obrigatórios; para estabelecer limites desse tipo cada país deveria considerar esses valores dentro do contexto das condições locais ou nacionais além dos aspectos ambiental, social, econômico e cultural. A principal razão para abandonar a prática anterior de estabelecer normas internacionais foi a conveniência de serem adotados critérios qualitativos e quantitativos em relação aos riscos e benefícios encontrados durante a elaboração das normas e regulamentos nacionais. Afinal, a existência de normas e regulamentos sanitários somente tem sentido se for colocada em prática e se for cumprida; para o atendimento destas Diretrizes são necessários técnicos especializados e instalações e equipamentos laboratoriais relativamente caros.

Esta nova abordagem era fortemente focada no atendimento a padrões de qualidade da água para consumo humano e a um plano de monitoramento. A qualidade da água era assegurada pela análise do produto final, ou seja, o controle era feito através de coleta de amostras de água no sistema de abastecimento; posteriormente essas amostras eram analisadas quanto à presença de organismos vivos específicos denominados microrganismos indicadores, ou pela concentração de determinada substância química presente na água.

Diversas falhas e limitações na metodologia da análise do produto final foram identificadas nos últimos anos e podem ser assim resumidas:

- Existe grande variedade de agentes patogênicos relacionados à água que, não podem ser detectados ou que podem ser detectados com certa insegurança utilizando os indicadores clássicos: o coliforme *Escherichia coli* e *Enterococci*, particularmente vírus e protozoários. Houveram surtos de doenças relacionadas à água, por exemplo, em Millwaukee – EUA, em 1993, que ocorreram em sistemas de abastecimento de água que atendiam aos padrões de potabilidade com a ausência de microrganismos indicadores (HOWARD et al., 2002).
- Frequentemente, os resultados do monitoramento estão disponíveis após serem feitas as devidas intervenções para manter a segurança do sistema de abastecimento. A análise do produto final permite verificar apenas se a água após a distribuição e consumo é segura (ou insegura) (EXNER e KISTEMANN, 2003).
- A análise do produto final dificilmente pode ser considerada um método perfeito para representar a condição de qualidade da água uma vez que uma pequena fração do volume total da água produzida e distribuída está sujeita aos exames físicos e microbiológicos e às análises químicas (CCME, 2004).
- A análise do produto final não proporciona segurança em si mesma, ou seja, ela deve ser considerada apenas como meio para verificar se todos os componentes do sistema de abastecimento e as medidas de controle existentes estão operando apropriadamente (VIEIRA, 2005a).

Em reconhecimento às limitações relacionadas à dependência atual da análise do produto final para assegurar a confiabilidade na água distribuída, partiu-se para a introdução de nova estrutura de gestão da segurança da água ao invés do simples monitoramento da água distribuída.

Na terceira edição das “Diretrizes para a Qualidade da Água para Consumo Humano”, publicada pela OMS em 2004, foi apresentada uma proposta mais abrangente para controle da qualidade da água – Plano de Segurança da Água (PSA) (em inglês *Water Safety Plan*). Alguns países produziram abordagens semelhantes. Por exemplo, o Canadá, através do *Canadian Council of Minister of the Environment* (CCME) elaborou uma proposta, denominada “Abordagem Multi-barreiras para a Água de Consumo Humano” (*Multi-barrier Approach to Safe Drinking Water*) e o Ministério da Saúde da Nova Zelândia produziu o “Plano de Gestão de Risco para a

Saúde Pública” (*Public Health Risk Management Plan*). Nestas novas abordagens foi enfatizado o Princípio Multi-Barreira e indicado um processo sistemático para identificação de perigos e procedimentos de gestão e controle de riscos associados as modernas técnicas de Gestão da Qualidade. Nestes planos foram aplicadas ações preventivas de segurança para a água que compreendem todas as etapas de sua proteção, desde o manancial até o consumidor. Estas abordagens foram desenvolvidas para organizar e sistematizar uma longa prática de gestão em uso para assegurar a qualidade dos serviços de abastecimento de água para consumo humano.

Elas têm como base diversos conceitos de gestão de riscos e utilizam o instrumento “Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle” – APPCC (da sigla em inglês para *Hazard Analysis and Critical Control Point - HACCP*); sistema que identifica, avalia e controla riscos significativos durante o processo de captação, produção e distribuição de água.

Segundo a OMS, os maiores beneficiários destas novas abordagens serão os pequenos serviços de abastecimento de água, principalmente aqueles que atendem menos de 5.000 pessoas, nos quais freqüentemente é inadequada a análise do produto final, via atendimento aos padrões de potabilidade (WHO, 2004a). Assim, como a maioria dos serviços de abastecimento de água no Brasil é de pequeno porte e os problemas decorrentes do monitoramento e controle da qualidade da água ainda precisam ser resolvidos, novas abordagens poderão ser valiosos instrumentos para a gestão dos riscos encontrados no processo de abastecimento de água para consumo humano.

ESTRUTURA DA TESE

O Trabalho está organizado em oito capítulos específicos – no primeiro estão apresentadas as considerações introdutórias relativas à definição do problema de pesquisa, o capítulo dois apresenta a relevância e justificativa para o trabalho e no capítulo três estão expostos os objetivos pretendidos para este estudo.

O capítulo quatro apresenta extensa revisão bibliográfica com a fundamentação teórica, na qual foram discutidas: as definições de risco; riscos relacionados a saúde; a relação entre risco, ambiente e saúde; o saneamento como fator de risco; sistemas de distribuição de água e análise de risco envolvendo as redes de distribuição de água.

O capítulo cinco contempla a metodologia usada e apresenta o método de avaliação de risco proposto para as redes de distribuição de água.

No capítulo seis estão apresentados os resultados e são discutidos os resultados da aplicação do método de avaliação de risco e no capítulo sete são apresentadas as conclusões deste estudo.

No capítulo 8 está relacionada toda a bibliografia utilizada.

2. PROPOSTA E RELEVÂNCIA DO TEMA

A proposta deste estudo é apresentar e discutir como os conceitos ligados a avaliação e gestão de riscos podem ser aplicados em sistemas de abastecimento e, especificamente, em redes de distribuição de água.

A adoção de um método baseado no risco, tal como o PSA, é essencial para a efetiva gestão de um sistema de abastecimento de água. A avaliação e gestão dos riscos são ferramentas úteis para entender a vulnerabilidade de um sistema de abastecimento de água e, também, para planejar e gerir estratégias eficazes para assegurar que, após tratamento, a água se mantenha, segura e disponível para consumo humano. O objetivo da avaliação e gestão de risco, a longo prazo, é proteger consistentemente a saúde da população. A aplicação dessas abordagens em serviços de abastecimento de água tem sido relatada em países da África (Uganda), Ásia (Índia), Europa (Alemanha, França, Inglaterra e Suíça) e Oceania (Austrália e Nova Zelândia).

No Brasil, a Portaria MS nº 518/2004 que fixa os Padrões de Potabilidade para a água de consumo humano, destacou a necessidade de ser estabelecida uma sistemática para implementar a avaliação e gestão de riscos nos sistemas de abastecimento de água, em especial os PSAs. O Ministério da Saúde pretende fomentar a colaboração entre setores de saúde e ambiente para o desenvolvimento de um projeto piloto de PSA. Com essa proposta é esperado que o desenvolvimento desse piloto possibilite a disseminação dessa estratégia no país, notadamente para os principais sistemas de abastecimento de água.

Especificamente em relação à gestão de riscos microbiológicos em redes de distribuição de água o tema escolhido é de grande importância, pois:

- O sistema de distribuição é o maior componente da infra-estrutura dos sistemas de abastecimento de água;
- Devido à sua capilaridade, a rede de distribuição está dispersa em vasta área onde se encontram assentadas as populações e suas atividades e, potencialmente, estão em maior proximidade com os contaminantes externos, principalmente os de origem microbiológica relacionados ao excreto humano;
- As investigações de surtos de doenças relacionadas à água sugerem que a causa de grande parte deles deva ser atribuída aos sistemas de distribuição de água e,

- Os custos relativos à operação, reparos e substituição deste sistema são elevados e os trabalhos associados a eles demandam elevados tempo e riscos.

Portanto, o tema a ser pesquisado abrange as três imposições de tese: é original, importante e viável. Original, por envolver uma área carente de informações no Brasil e apresentar novas metodologias para controle da qualidade da água para consumo humano, utilizando os modernos conceitos de avaliação e gestão de risco a um componente fundamental dos Sistemas de Abastecimento de Água – a rede de distribuição. É importante, também, pois a falta de controle da qualidade da água para consumo humano afeta diretamente a saúde de toda a população e suas abordagens podem ser aplicadas, com as devidas adaptações, a qualquer tipo de abastecimento de água, desde pequenos sistemas comunitários até os complexos sistemas de abastecimento de água das regiões metropolitanas. A proposta é que este método auxilie o controle da qualidade da água em pequenas comunidades, nos quais seja pouco factível o controle tradicional indicado na legislação sanitária via análise do produto final para o atendimento aos Padrões de Potabilidade. O tema é viável por utilizar as informações já existentes nos serviços de abastecimento de água. Eventuais análises laboratoriais deverão utilizar procedimentos padronizados e de uso rotineiro no controle de qualidade de água. Utilizar esta nova abordagem deverá trazer subsídios para implantação do PSA no Brasil, além de divulgar esta importante técnica de gestão dos sistemas de abastecimento de água.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO PRECÍPUO

- Examinar a pertinência de utilização da avaliação de risco na operação de redes de distribuição e no controle da qualidade microbiológica da água para consumo humano.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar o modo pelo qual os conceitos de avaliação e gestão de risco podem ser aplicados na operação de redes de distribuição e no controle da qualidade microbiológica da água para consumo humano.
- Identificar e caracterizar as variáveis relevantes para a avaliação de risco microbiológico em redes de distribuição de água.
- Definir critérios e parâmetros para a avaliação de risco microbiológico em redes de distribuição de água.
- Através de um estudo de caso, aplicar os critérios e parâmetros definidos no item anterior a uma rede de distribuição de água.

3.3 HIPÓTESE

Esta tese foi baseada na hipótese que a forma como atualmente tem sido feito o controle da qualidade da água em redes de distribuição – através da análise do produto final – não constitui garantia *per se*, por isso é preciso estudar novas abordagens para tratar o problema da segurança da água, as quais, atualmente, passam pela avaliação e gestão de riscos das redes de distribuição.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ÁGUAS - ALGUMAS DEFINIÇÕES

A água a ser utilizada para o abastecimento de uma comunidade deve apresentar algumas características que a torne agradável ao consumo humano. Não deve ser quimicamente pura, pois a água carente de matéria dissolvida e em suspensão não tem sabor, odor e gosto agradáveis, além do mais, a presença de certos minerais na água é essencial à saúde e, por este motivo, algumas águas são consideradas mais saudáveis que outras. Gray (2008) observa que a água não deve conter em concentrações excessivas as seguintes categorias de substâncias, pois são indesejáveis ao consumo humano:

- Cor. Devido à presença de matéria orgânica dissolvida, ou sais minerais de ferro e manganês;
- Matéria suspensa. Nome dado à matéria mineral fina e restos de plantas que não se sedimentam;
- Turbidez. Isto é, a medida da limpidez, ou transparência da água. A turvação da água pode ser causada por numerosos fatores como partículas minerais finas em suspensão, alta concentração de bactérias, ou mesmo finas bolhas devido à excessiva aeração da água;
- Agentes Patogênicos. Vírus, bactérias, protozoários ou outros tipos de organismos patogênicos podem afetar adversamente a saúde do consumidor. Estes organismos, contidos, geralmente, nas fezes humanas e de animais, contaminam a água quer do manancial quer da rede de distribuição;
- Dureza. A excessiva ou a escassez da dureza são igualmente indesejáveis. Águas duras geralmente são provenientes de aquíferos subterrâneos enquanto as águas muito brandas são características de certas bacias localizadas em áreas montanhosas;
- Sabor e Odor. Sabores e odores desagradáveis são devidos a uma variedade de razões tais como a contaminação por águas residuárias; excessiva concentração de produtos químicos como ferro, manganês ou alumínio; decomposição da vegetação; condições de estagnação devido à falta de oxigênio na água ou presença de determinadas algas;
- Produtos Perigosos. Existe uma grande variedade de produtos orgânicos e inorgânicos perigosos que podem estar presentes na água. Eles são absorvidos

através do contato da água com o solo, através de descargas de águas residuárias industriais ou de esgoto sanitário.

Água para consumo humano foi definida pela OMS (WHO, 1984) como aquela água adequada para o consumo humano e para todo uso doméstico habitual, incluída a higiene pessoal. Para Gray (2008) a água adequada para o consumo humano deve ser:

- Palatável – não possuir gosto desagradável;
- Segura – não conter organismos patogênicos ou substâncias químicas que possam ser nocivas aos consumidores;
- Límpida – ser livre de matéria suspensa e turbidez;
- Livre de cor ou odor – ter aparência de água para consumo;
- Razoavelmente branda – para permitir que o consumidor lave roupa e utensílios domésticos, bem como faça sua higiene pessoal sem necessidade do uso excessivo de detergente ou sabão;
- Não corrosiva – a água não deve ser corrosiva para as tubulações ou promover a lixiviação dos metais das tubulações ou reservatórios;
- Possuir baixa quantidade de matéria orgânica – alta concentração de matéria orgânica propicia a proliferação de microrganismos, cuja presença é indesejável nas tubulações e reservatórios porque podem afetar a qualidade da água a ser consumida e, em determinadas situações podem permitir a formação de subprodutos da desinfecção.

Segundo Oliveira (1987) água potável é aquela que atende aos padrões de potabilidade. Em 1990 a Portaria N°. 036/GM estabelecia a seguinte definição para água potável: “aquela com qualidade adequada ao consumo humano” (BRASIL, 1990, p.1). Esta Portaria tinha como base a definição e atendimento ao padrão de potabilidade através do monitoramento e apresentava sérias lacunas quanto à disposição de critérios e procedimentos complementares.

A revisão da Portaria GM N°. 36/1990, foi baseada na premissa epidemiológica que adotar limites máximos de presença na água de consumo para substâncias e organismos potencialmente nocivos à saúde humana, embora seja atitude necessária, não é suficiente para garantir a desejável proteção à saúde (BRASIL, 2005b).

A nova definição dada à água potável pela Portaria N°. 1.469 de 29 de dezembro de 2000 e N°. 518, de 25 de março de 2004, que a substituiu, vai além do simples atendimento ao padrão de potabilidade. A água é considerada potável se, além de respeitar o padrão de potabilidade, for produzida e distribuída de forma a não implicar em risco à saúde do ser humano. Assim, para controle desses novos riscos, alguns fatores devem ser considerados no Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano:

- A promoção de boas práticas de projeto, construção e operação do sistema de abastecimento de água. As boas práticas buscam exatamente minimizar a probabilidade de ocorrência dos efeitos indesejáveis do abastecimento de água para a saúde humana;
- O enfoque sistêmico do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, considerando as características dinâmicas da qualidade da água e sua variabilidade desde o manancial até o consumidor;
- A incorporação de um enfoque epidemiológico à vigilância da qualidade da água para consumo humano;
- A avaliação de riscos, promovendo nas situações identificadas como de risco à saúde as necessárias medidas preventivas e corretivas, além da adequada informação à população.

Outro conceito importante é o de Água Segura, inicialmente definida como a água que atendesse aos padrões de segurança. Por sua vez, padrões de segurança foram definidos como “as quantidades limites que, relativamente aos vários elementos, podem ser toleradas nas águas de abastecimento e garantem que a água não vai causar dano à saúde da população, embora não atenda bem a certos aspectos, tais como cor, sabor, odor, mas permitem a utilização de uma água de melhor qualidade que a usada normalmente” (OLIVEIRA, 1987, p.23).

O conceito de água segura foi utilizado em 1992, em resposta à epidemia do cólera que, então, se propagava pela América Latina. O Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) e a Organização Pan-Americana de Saúde (OPS) formularam um conjunto de intervenções para ser possível alcançar a melhoria imediata da qualidade da água; ao qual denominaram “Sistema de Água Segura”. Este Sistema é de baixo custo, fácil de ser empregado e tem um enfoque útil, prático

e flexível para intervenções sobre a qualidade da água e a higiene pessoal (CDC, 2000). Para tornar a água segura a estratégia usada é baseada nas seguintes premissas:

- Tratamento no ponto de consumo da água contaminada, por meio de uma solução de hipoclorito de sódio adquirida localmente e produzida com água e sal, utilizando uma célula eletrolítica;
- Armazenamento seguro da água em recipientes de plástico, com tampas e torneiras ou chave, para evitar a contaminação;
- Técnicas para mudar os comportamentos e mobilizar a comunidade: entrevistas de motivação, comunicação e educação para melhor conhecimento a respeito da relação entre água contaminada e doenças, entendimento dos benefícios da água segura e, ainda, para favorecer comportamentos higiênicos como a compra e o uso adequado de recipientes para armazenamento da água e do desinfetante (CDC, 2000).

A definição de água segura buscava atender uma situação emergencial, em que era necessário priorizar ações, ou seja, controlar o risco microbiológico provocado pela circulação no ambiente do *Vibrio cholerae*. Em situações de pouco recurso, encontradas principalmente nos países em desenvolvimento, esta definição de água segura priorizava ações que, com pouco investimento, pudessem produzir o melhor efeito à saúde da população. Atualmente, água segura pode ser entendida como a água que não implica risco à saúde humana. Para ser segura a água somente poderá apresentar contaminantes em concentrações tão baixas que não causem danos à saúde. A determinação dos níveis máximos desses contaminantes que irá definir a qualidade da água para que ela possa ser chamada água segura, é matéria da avaliação de risco e para a legislação sanitária.

Em 2003, a OMS definiu água segura para consumo humano (*safe drinking water*) como aquela que não representa qualquer risco significativo para a saúde se consumida durante toda a vida, mesmo levando em conta diferentes suscetibilidades que podem ocorrer entre os estágios de vida. As crianças, os idosos e as pessoas que estão debilitadas, ou moram em locais insalubres, são as que apresentam os maiores riscos de adquirir doenças relacionadas à água. Cabe à sociedade, como um todo, decidir o que deve ser considerado como risco tolerável em uma situação particular.

O julgamento final em relação aos benefícios que resultaram da adoção de metas baseadas na saúde e seus custos é uma decisão que cabe a cada país (WHO, 2004a).

Recentemente a Organização das Nações Unidas (ONU) também definiu água segura para consumo humano como a água que é segura para beber e disponível em quantidade suficiente para as necessidades higiênicas (UN MILLENNIUM PROJECT, 2005). Novamente o conceito de risco encontra-se implícito no que deve ser considerado seguro. Contudo, a ONU amplia este conceito e considera também que o acesso à água deva ser considerado como fator de risco.

Os conceitos de água potável sempre estiveram ligados ao atendimento a padrões de potabilidade, entretanto a Portaria N°. 518, de 25 de março de 2004, inova ao exigir que a água, além de atender aos Padrões de Potabilidade, não apresente riscos à saúde. Desta forma, a norma sanitária brasileira apresenta estreita harmonia com as diretrizes da OMS a respeito do conceito de água segura para consumo humano e avança ao explicitar a necessidade de serem considerados os riscos encontrados na captação, tratamento e distribuição da água e que não estão referidos nos Padrões de Potabilidade. Contudo, as normas sanitárias mantêm a distinção entre qualidade e quantidade da água, como se esses dois fatores pudessem ser tratados distintamente.

Considerando que a água tem influência direta sobre a saúde, qualidade de vida e desenvolvimento do ser humano e, mais ainda, que todas as pessoas, em quaisquer estágios de desenvolvimento e condições socioeconômicas, têm direito ao acesso a um suprimento adequado de água potável e segura, neste texto, a terminologia água segura para consumo humano deve ser entendida como: oferta de água que não represente risco significativo à saúde, em quantidade suficiente para atender a todas as necessidades domésticas, que esteja disponível continuamente e que tenha custo acessível; estas condições podem ser resumidas em cinco palavras-chave: qualidade, quantidade, continuidade, cobertura e custo (OPS, 2001b).

4.2 FUNDAMENTOS DA SEGURANÇA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Segundo a OMS (WHO, 2004a) o meio destinado a proteger continuamente o abastecimento de água para consumo humano, que possui a melhor relação custo/benefício é a aplicação do Princípio Multi-Barreiras associado à avaliação e gestão baseada nos riscos à saúde e apoiada nos princípios da gestão da qualidade. O'

Connor (2002b) sugere que nesta nova abordagem, também seja considerado o Princípio da Precaução. De qualquer forma é imprescindível que a segurança da água para consumo humano compreenda todo o sistema de abastecimento – desde o manancial até o consumidor como mostra a Figura 4.1.

Figura 4.1 - Abordagem de gestão de risco “do manancial até o consumidor” para a segurança da água para consumo humano.

Fonte: adaptado de Medema et al. (2003).

4.3 AVALIAÇÃO E GESTÃO DE RISCOS

Ao longo de sua história desde sempre o homem se preocupou com os riscos à saúde, porém nas últimas décadas esse interesse tem sido muito intensificado. O conhecimento dos riscos permitiu que fossem realizadas comparações entre distintas ameaças à saúde – o que só recentemente foi formalmente estabelecido. A avaliação de riscos tem sua raiz no setor ambiental no qual foi utilizado como método sistemático para comparar problemas ambientais com variados graus de riscos. (NARDOCCI, 1999).

A Avaliação de Risco é uma caracterização sistêmica e científica dos efeitos adversos resultantes das exposições humanas a agentes ou atividades perigosas. Nesta avaliação é fundamental que a abordagem adotada permita que sempre se atue de forma preventiva ao invés de reativa, caracterizando os riscos maiores e os menores, priorizando o tratamento dos primeiros, aprendendo com a experiência e investindo recursos na gestão dos riscos que, proporcionalmente, sejam mais perigosos (HRUDEY, 2004 e HRUDEY et al., 2006).

Gestão de Risco é o processo de controle dos riscos compreendendo a formulação e a implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos

que têm por objetivo prevenir, reduzir e controlar os riscos, bem como manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil (CETESB, 2003).

4.4 PRINCÍPIO MULTI-BARREIRAS

A melhor maneira de garantir a segurança de um sistema de abastecimento de água é implantar múltiplas barreiras que mantenham os contaminantes da água fora do alcance das pessoas.

Na saúde pública e principalmente nos sistemas de abastecimento de água é comum e importante, para prevenção contra falha de alguma barreira, certo grau de redundância e duplicidade nas unidades e processos (O'CONNOR, 2002a). A finalidade dessas barreiras é minimizar a probabilidade de entrada de contaminantes no sistema de abastecimento de água ou, então, reduzir ou eliminar os contaminantes nela presentes. A abordagem Multi-Barreiras considera que cada barreira sanitária proporciona uma redução do risco de a água se tornar insegura. Com múltiplas barreiras, caso existam falhas em uma das etapas, as demais barreiras continuarão a fornecer proteção. Nesta abordagem, as falhas em uma barreira são compensadas pela operação eficaz das barreiras subseqüentes, as quais minimizam a probabilidade de contaminação do sistema de abastecimento de água e evitam que os contaminantes estejam presentes em quantidades suficientes para causar danos aos consumidores (CCME, 2002).

O uso de múltiplas barreiras é importante porque nem sempre uma única barreira é totalmente efetiva e, assim, é necessário um grau de redundância contra as falhas. Um sistema que utilize vários processos em série, terá baixa tolerância contra falhas se cada um dos processos tiver baixa taxa de falhas e os modos de falhas forem diferentes uns dos outros. Cada barreira do sistema de abastecimento de água desde o manancial, tratamento e distribuição precisa ser cuidadosamente escolhida, projetada e operada, para que a combinação de todas as etapas forneça a melhor defesa possível contra eventos perigosos caso alguma coisa aconteça erroneamente (O'CONNOR, 2002b).

No abastecimento da água para consumo humano normalmente são usadas cinco barreiras:

- Proteção do manancial – mantém a água bruta tão limpa quanto possível para diminuir os riscos de os contaminantes atravessarem ou sobrecarregarem o sistema de tratamento.
- Tratamento – freqüentemente utiliza mais de uma técnica ou método para remover ou inativar contaminantes (por exemplo, a filtração pode estar acompanhada por cloração, ozonização ou radiação ultravioleta).
- Segurança no sistema de distribuição contra a entrada de contaminantes quando há ruptura em alguma parte do sistema, obtida pela garantia de um residual de cloro livre que permita a contínua distribuição de água segura.
- Programa de monitoramento realizado com equipamento com alarme ou instrumentos de controle automático, com limites aceitáveis.
- Respostas para condições específicas adversas bem planejadas, completas e práticas. Estas ações são necessárias quando outros processos falham ou quando houver indicadores da deterioração da qualidade da água.

Embora cada barreira ofereça proteção, nenhuma barreira em si mesma é perfeita; por isso, depositar toda confiança em uma única barreira, ao invés de em várias, pode aumentar o risco de contaminação. Por outro lado, a omissão ou descuido com uma das barreiras pode ter sérias conseqüências sobre as demais; por exemplo, um reservatório não coberto de água tratada pode prejudicar todo o trabalho desenvolvido nas etapas anteriores que foram adotadas para garantir a segurança da água (O'CONNOR, 2002b).

Independente da maneira como ocorrem as falhas, as barreiras deveriam ser selecionadas de tal maneira que a falha de uma não resultasse na falha de todas as demais. Se o manancial estiver poluído ou contaminado, a desinfecção deve garantir que microrganismos não atinjam o sistema de distribuição. Neste caso pode ser necessária, por exemplo, a instalação de alarme para o sistema de monitoramento do cloro (desinfetante) e válvulas de bloqueio.

A existência de uma barreira com elevada eficácia não implica que as demais possam ser ignoradas. O conceito de múltiplas barreiras vincula a presença de todos os cinco tipos de barreiras para que a proteção tenha o maior alcance possível.

O Quadro 4.1 fornece uma indicação geral de como a abordagem multi-barreiras pode ser implementada em sistemas de abastecimento de água.

Quadro 4.1 - Barreiras sanitárias em sistemas de abastecimento de água

Perigo	Barreira	Abordagem típica de gestão de risco
<ul style="list-style-type: none"> – Agentes patogênicos – Contaminantes químicos – Radionuclídeos 	Proteção do manancial	<ul style="list-style-type: none"> – Plano de proteção da bacia; – Melhoria do tratamento dos esgotos – Escolha de novo manancial
<ul style="list-style-type: none"> – Agentes patogênicos – Contaminantes químicos – Radionuclídeos 	Tratamento	<ul style="list-style-type: none"> – Padrões de qualidade da água – Filtração com auxílio de produtos químicos – Desinfecção
<ul style="list-style-type: none"> – Infiltração – Presença de agentes patogênicos 	Sistema de Distribuição	<ul style="list-style-type: none"> – Residual de cloro – Pressão no sistema – Plano de manutenção
<ul style="list-style-type: none"> – Falhas não detectadas no sistema 	Monitoramento	<ul style="list-style-type: none"> – Monitoramento automático – Alarme e válvulas de bloqueio – Livro de registros, análise de tendências
<ul style="list-style-type: none"> – Falha ao atuar prontamente sobre o sistema – Falha ao comunicar imediatamente às autoridades sanitárias e ao público 	Resposta	<ul style="list-style-type: none"> – Planos de respostas a emergências – Comunicados para ferver a água

Fonte: adaptado de O' Connor (2002b).

Portanto, a avaliação e a gestão de riscos devem ser realizadas para cada barreira do sistema de abastecimento para ser possível garantir segurança à água de consumo humano. É importante avaliar o grau de cada risco e determinar como efetivamente reduzi-lo, para que sejam selecionadas as ações mais apropriadas para cada barreira. Muitas vezes essas ações são óbvias como tratar toda a água de mananciais de superfície; em outras situações – tais como determinar a concentração aceitável de um contaminante na etapa de seleção do manancial (barreira 1) ou no tratamento da água do manancial (barreira 2) – a tomada de decisão pode ser mais complexa. Bem por isso, seja em situações mais simples ou naquelas mais complexas, é preciso identificar os riscos para adotar a abordagem que mais efetivamente poderá reduzi-los. (O'CONNOR, 2002b).

Em uma situação ideal, os recursos deveriam ser alocados, tanto quanto possível, para reduzir riscos de maior gravidade e extensão. Quando a água para consumo humano está envolvida, os custos associados às barreiras de proteção tendem a aumentar à medida que confiamos em apenas uma única barreira. Portanto,

é preciso muito bom senso para buscar meios de se investir de forma equilibrada em todos os cinco tipos de barreiras (O'CONNOR, 2002b).

4.5 O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

Os esforços na proteção ao ambiente e à saúde pública estão concentrados principalmente na busca da certeza científica a respeito da relação causa e efeito entre contaminantes e o ser humano ou o ambiente. Este ônus da prova científica criou uma barreira monumental no processo de proteção à saúde e ao ambiente porque cabe ao público a responsabilidade de provar que uma determinada atividade ou substância seja perigosa e, desta forma, as ações preventivas somente poderão ser tomadas após a existência de suficientes provas de danos.

Para superar esta barreira, foi construído um instrumento jurídico, baseado no poder ético e no rigor científico, denominado Princípio da Precaução. O princípio da precaução pode ser invocado sempre que seja necessária uma intervenção urgente face a um possível risco para a saúde humana, animal, vegetal e para a proteção do ambiente, ou em situações em que os dados científicos não permitam a avaliação completa dos riscos. Este princípio deve ser aplicado sobretudo para os casos de saúde pública; porém não deve ser usado como pretexto para ações protecionistas.

Segundo Silva Augusto e Freitas (1998) a aplicação do Princípio da Precaução envolve não só o reconhecimento e a exposição das inerentes incertezas sobre os efeitos das substâncias químicas sobre os seres humanos e o ambiente, mas envolve também a admissão de nossa ignorância em relação ao problema e à indeterminância. O conceito de risco faz supor que o comportamento das substâncias ou organismos potencialmente contaminantes são bem conhecidos e que os efeitos sobre o ser humano ou ambiente podem ser definidos e quantificados por meio de análises estruturadas de mecanismos e probabilidades.

As incertezas aparecem quando, embora sejam determinados parâmetros e processos, a distribuição de probabilidades é desconhecida e, então, são usados métodos sofisticados para estimá-las e aos efeitos de seus resultados. “Na incerteza conhecemos o que ainda não conhecemos” (SILVA AUGUSTO e FREITAS, 1998, p.89). A ignorância, por definição, refere-se ao que escapa ao reconhecimento e ela é endêmica ao conhecimento científico, o qual tem que deduzir a estrutura de saber ao que é mais adequado para os métodos e modelos de análise (SILVA AUGUSTO e FREITAS, 1998).

A busca do “risco zero”, infelizmente, é uma aspiração irrealizável para a humanidade; por isso o reconhecimento e adoção do Princípio da Precaução além de ter como consequência transferir a responsabilidade das provas científicas do consumidor, para o gerador de riscos, ainda passa a exigir que este último desenvolva estudos completos antes que alguém empregue uma substância ou processo.

Segundo a Comunidade Européia (CE, 2008), o princípio da precaução pode ser evocado quando os efeitos potencialmente perigosos de um evento, de um produto ou de um procedimento forem identificados através de avaliação científica e objetiva, mas esta avaliação não permite determinar o risco com certeza suficiente. O uso do princípio da precaução se inscreve no quadro geral da gestão de risco que corresponde à tomada de decisão. O recurso do princípio da precaução só se justifica caso sejam atendidas três condições prévias: identificação dos efeitos potencialmente negativos, avaliação dos dados científicos disponíveis e extensão da certeza científica.

Três princípios específicos devem guiar o recurso ao princípio de precaução:

- A aplicação do princípio deverá basear-se em uma avaliação científica tão completa quanto possível, a qual, na medida do possível, possa determinar, em cada fase, o grau de incerteza científica.
- Qualquer decisão de agir ou de não agir por força do princípio da precaução deverá ser precedida de uma avaliação de risco e das potenciais consequências da não-ação.
- Assim que os resultados da avaliação científica ou de risco estiverem disponíveis, todas as partes interessadas deverão ter a possibilidade de participar do estudo de várias ações cabíveis, com a maior transparência possível.

Para O’ Connor (2002b), quando as consequências potenciais de perigo em questão forem grandes, esta abordagem também precisa levar os custos em consideração. O princípio da precaução tem importante papel a desempenhar na prática da gestão de risco e precisa ser sempre lembrado na tomada de decisões que afetem a segurança da água para consumo humano.

Algumas vezes o Princípio da Precaução é descrito como uma alternativa à abordagem de gestão de risco, porém, na realidade, essas duas abordagens são complementares. Em uma visão pragmática de segurança, o objetivo de ambas não é alcançar a perfeita segurança, mas atingir um nível de risco tolerável para um amplo

espectro de cidadãos. Portanto, a abordagem da precaução é inerente à gestão de risco, e a necessidade de precaução cresce à medida que são estimadas as incertezas sobre os perigos e existe a suspeita de efeitos adversos graves ou irreversíveis.

4.6 ESTRUTURA PARA SEGURANÇA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Todo sistema de abastecimento de água deve ter como objetivo distribuir água com o mínimo nível de risco possível para que uma pessoa razoavelmente informada sinta segurança em bebê-la (O' CONNOR, 2002b).

Segundo a OMS (WHO, 2004a) a estrutura de gestão da segurança da água para consumo humano deve compreender cinco componentes:

- Metas baseadas na avaliação de riscos à saúde humana;
- Sistema de avaliação para determinar se o sistema de abastecimento de água como um todo (do manancial, através do tratamento até o ponto de consumo) distribui água que atenda aos padrões de potabilidade;
- Monitoramento operacional das medidas de controle no sistema que são importantes para garantir água segura para beber;
- Planos de gestão que documentem o sistema de avaliação, os planos de monitoramento e a descrição de ações a serem adotadas na operação normal e em condições de incidentes, incluindo ampliações e melhorias e;
- Um sistema de vigilância independente que verifique se os componentes do sistema de abastecimento de água têm operação satisfatória.

A Figura 4.2 mostra a nova estrutura indicada para a segurança da água para consumo humano.

4.6.1 Metas baseadas nos riscos à saúde

As metas baseadas nos riscos à saúde humana constituem componente essencial na estrutura de segurança da água para consumo humano. Elas devem ser estabelecidas por uma autoridade de alto nível, responsável pela saúde, após consulta a outros membros, inclusive operadores dos sistemas e membros da comunidade. Como parte das políticas públicas voltadas para a água e saúde é necessário considerar a situação de saúde pública em geral e a contribuição que a qualidade da

água produzirá no controle das doenças de transmissão hídrica e, também, a importância de garantir o acesso à água potável, especialmente para as populações ainda não beneficiadas.

Figura 4.2 - Estrutura para a Segurança da Água
Fonte: adaptado de WHO (2004a).

4.6.2 Plano de Segurança da Água (PSA)

O PSA foi desenvolvido para organizar e sistematizar uma longa prática de gestão dos sistemas de abastecimento de água e assegurar o uso dessas práticas na gestão da qualidade da água para consumo humano. Este Plano utiliza muito dos princípios e conceitos de duas abordagens da análise de risco: o Princípio Multi-Barreiras e a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle - APPCC (WHO, 2005a).

O PSA pode variar em complexidade, dependendo das situações encontradas; em muitos casos, ele será muito simples, identificando os pontos perigosos de um sistema específico. Os Planos de Segurança da Água são poderosos instrumentos para os operadores de sistemas gerenciarem seus sistemas com segurança e, também no auxílio à vigilância da qualidade da água feita pelas autoridades em saúde pública (WHO, 2004a).

Um PSA possui três componentes orientados para o atendimento das metas baseadas na saúde (GODFREY e HOWARD, 2004):

- Sistema de avaliação, definição de medidas a serem aplicadas ao sistema de abastecimento de água para controlar os riscos identificados e planos de gestão que descrevam as ações a serem tomadas durante a operação normal ou em condições de incidente, documentando o sistema de avaliação (incluindo atualização e melhoramento),
- Monitoramento e,
- Plano de comunicação e programas de apoio.

O Plano de Segurança da Água será apresentado de forma detalhada no item 4.12.

4.6.3 Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano

O órgão de vigilância é o responsável pela supervisão independente e periódica de todos os aspectos relacionados à segurança da água, considerando sempre que o operador do sistema é responsável, durante todo o tempo, pelo controle da qualidade, pelo monitoramento operacional e pelo uso de boas práticas de operação (FREITAS e FREITAS, 2005).

A vigilância contribui para a proteção da saúde pública pela avaliação da conformidade com o PSA e pela promoção de melhorias na qualidade, quantidade, acessibilidade, cobertura, disponibilidade e continuidade do sistema de abastecimento. Ela possui três grandes componentes:

- A análise permanente e sistemática da informação sobre a qualidade da água para confirmar se o manancial, o tratamento e a distribuição atendem aos objetivos e regulamentos estabelecidos na legislação vigente;
- Avaliação sistemática das diversas modalidades de fornecimento de água às populações seja coletiva ou individual, de forma a verificar o grau de risco representado à saúde pública em função do manancial abastecedor, adequabilidade do tratamento e questões de ordem operacional, e
- Análise da evolução da qualidade física, química e microbiológica, e sua correlação com as enfermidades relacionadas com a qualidade da água em todo o sistema de abastecimento de água, a fim de determinar o impacto na saúde dos consumidores (BRASIL, 2005a).

No Brasil, as ações de vigilância da qualidade da água estão circunscritas no Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionado à Qualidade da Água para Consumo Humano – PRÓ-ÁGUA, e cabe a Secretaria de Vigilância em Saúde, órgão do Ministério da Saúde, desenvolvê-lo. Na esfera estadual, no caso específico do Estado de São Paulo, o PRÓ-ÁGUA é implementado pelo Centro de Vigilância Sanitária (CVS), através do Grupo Técnico de Saneamento. Nos municípios, estas ações são implementadas pelas Secretarias Municipais de Saúde, geralmente pelas áreas responsáveis pela vigilância sanitária.

Em razão das ações do PRÓ-ÁGUA – na maioria dos estados e municípios que compõe a União – estar sob a tutela da vigilância sanitária, é comum se cometer o engano de vincular a atividade de vigilância da qualidade da água para consumo humano e o PRÓ-ÁGUA à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

A finalidade institucional da referida Agência é promover a proteção da saúde da população por intermédio do controle sanitário da produção e da comercialização de produtos e serviços submetidos à vigilância sanitária, inclusive dos ambientes, dos processos, dos insumos e das tecnologias a eles relacionados. Segundo o Decreto Nº 3.029, de 16 de abril de 1999 entre os bens e produtos submetidos ao controle e fiscalização sanitária da ANVISA estão os alimentos, inclusive bebidas, águas envasadas, seus insumos, suas embalagens, aditivos alimentares, limites de contaminantes orgânicos, resíduos de agrotóxicos e de medicamentos veterinários.

Portanto, a única atividade de fiscalização da ANVISA relacionada à água é a fiscalização de águas envasadas, ou seja, das águas usualmente conhecidas como águas minerais.

4.7 SAÚDE AMBIENTAL E RISCO

A Saúde Ambiental, em seu mais amplo conceito, compreende todos os aspectos da saúde humana, doença e danos que são determinados ou influenciados pelos fatores do ambiente. Estão incluídos nesta definição os efeitos patológicos diretos de vários agentes químicos, físicos e biológicos, que são fruto da forma de habitação, do desenvolvimento urbano, do uso e ocupação do solo, do transporte utilizado, da indústria e da agricultura (WHO, 1997c).

Além dos fatores genéticos e comportamentais, os fatores ambientais têm importante papel no desenvolvimento humano, na saúde e nas doenças.

O termo ambiente pode ser usado para referir o ar, a água e o solo, como também o ambiente artificial criado pela sociedade. As exposições humanas a agentes perigosos no ar, água, solo e alimentos e aos perigos físicos no ambiente são as maiores causas de doenças, incapacidades, e mortes em todo o mundo, além de comprometerem o desenvolvimento sustentável das nações. Muitas doenças resultam da baixa qualidade ambiental e têm seu maior impacto nas pessoas que se encontram sob risco. Portanto é preciso compreender como tratar os riscos ambientais à saúde humana para reduzi-los a um mínimo tolerável e, se possível, eliminá-los.

A sociedade atual tem se caracterizado pelo domínio científico e uso intensivo de tecnologias as quais, muitas vezes, têm provocado o aparecimento ou aumento das ameaças à vida na Terra (NARDOCCI, 1999).

O avanço tecnológico, verificado ao longo do século XX e início do século XXI, trouxe grandes benefícios à sociedade contemporânea como a melhoria da qualidade de vida, aumento da expectativa de vida e a cura de doenças. Entretanto a exploração excessiva dos recursos naturais existentes, fruto da explosão demográfica e da elevada produção de bens materiais, provocou uma crise ambiental, cujos resultados levaram à intensa destruição dos ecossistemas, contaminação dos mananciais, do solo e do ar, agravamento da pobreza, da fome e das disparidades na distribuição de renda entre as nações (BRILHANTE e CALDAS, 1999).

Por outro lado, o progresso técnico e a melhoria de vida levaram a uma maior conscientização do público e a não aceitação pura e simples dos problemas ambientais, dos acidentes tecnológicos ou ameaças de potenciais acidentes. As sociedades mais desenvolvidas exigiram maior garantia de segurança ou de medidas eficazes de proteção. Assim a sociedade moderna afasta-se da explicação redutora baseada no “destino” ou na “vontade de Deus” e responde à ameaça representada pelas doenças, acidentes ou desastres através de instrumentos judiciais (responsabilização, pedido de compensações), de mercado (transferência de responsabilidades ou mitigação de danos), de comunicação (campanhas, denúncias, boicotes), de transferência (seguros) e político-administrativos (regulamentação, regulação, fiscalização) (ALMEIDA, 2008).

O conceito de risco assumiu um papel relevante para a sociedade moderna e passou a ser usado como referência no cotidiano das sociedades contemporâneas mais desenvolvidas. A mídia, e seu poderoso papel como meio de comunicação social, possibilitou ao público reconhecer em situações reveladas ou denunciadas,

ameaças, acidentes ou desastres, o risco como elemento comum associado ao potencial de doenças, perigo ou perdas.

Os agentes reguladores e a opinião pública exigiram que as comunidades científicas e tecnológicas incrementassem o estudo e a investigação na compreensão dos fenômenos básicos e na detecção antecipada dos problemas, acidentes e desastres e fossem além da pura observação das relações entre exposição a um perigo e seus efeitos nas populações e no ambiente e respondessem às questões sobre o que é seguro ou não. Para responder às questões formuladas foi necessário adotar abordagens abrangentes e integradas (BRILHANTE e CALDAS, 1999).

Os estudos de risco têm sido usados como instrumentos nas relações e organização da sociedade moderna, contudo a aplicação do conceito de risco é extensa, os indicadores nem sempre são consistentes, a precaução ou prevenção, a aversão ou medo, confrontam-se com a conotação de risco como aspecto positivo associado à iniciativa ou arrojo. Geralmente, os riscos não podem ser medidos precisamente e são descritos através do uso de termos qualitativos tais como alto, médio ou baixo. Em algumas situações pode ser estimado e expresso quantitativamente, embora dentro de um intervalo de incerteza ou de uma distribuição de probabilidades. Apesar destas limitações os estudos de risco se tornaram ferramentas básicas e determinantes para a maioria das decisões que afetam a sociedade e, os critérios usados nessas avaliações são fundamentos normatizadores e organizadores da vida moderna (NARDOCCI, 1999).

Segundo Foster e Hirata (1993) estes estudos evoluíram simultaneamente no final do século XX ao longo de duas linhas:

- Aprofundamento de conhecimentos e obtenção de meios tecnológicos cada vez mais sofisticados e eficientes (linha de controle de segurança);
- Estruturação de procedimentos (planejamento) e implementação de medidas de prevenção e de gestão de emergências e de crises (planos de contingência principalmente no âmbito da proteção civil).

Por outro lado a constatação de que não há riscos residuais nulos, ou que a segurança absoluta é um objetivo utópico, torna impossível eliminar o risco e faz-se necessário estabelecer uma comparação entre os riscos e os benefícios. Neste caso um risco é considerado aceitável se os benefícios gerados suplantam os riscos para a

maioria das pessoas que estivessem envolvidas. Porém, em determinado momento, alguém deve decidir se um risco é aceitável ou não.

Um dos mais importantes objetivos dos estudos de riscos é subsidiar os tomadores de decisões com critérios e processos claros e precisos para que possam elaborar adequadas políticas de gestão dos riscos. No entanto, o processo de tomada de decisões e definição de critérios de riscos, por uma sociedade ou por organizações, é complexo e envolve, além da própria definição de risco, a limitação das metodologias científicas de avaliação ao considerar dados subjetivos e incertezas; a aceitabilidade social; a distribuição dos riscos e benefícios; a legitimação social dos métodos científicos de avaliação e gestão, bem como a voluntariedade dos riscos (NARDOCCI, 1999).

Os estudos sobre risco geram valiosas contribuições para a gestão de serviços públicos ligados a saúde e ao ambiente, pois permitem integrar de forma harmônica, complementar e integrada, disciplinas, profissionais e órgãos públicos, assim como a sociedade civil, na busca por leis e normas exaradas e da implementação de políticas favoráveis à saúde e ao ambiente (BRILHANTE e CALDAS, 1999).

4.8 CONCEITO DE RISCO

Todas as atividades em que estamos envolvidos têm certo grau de risco, portanto, é um componente de nossas vidas. Risco é um termo recente, essencialmente moderno; é o reflexo da reorientação das relações das pessoas com eventos futuros, em uma espécie de “domesticação dos eventos vindouros”. Se antes da era moderna o perigo implicava em fatalidade, agora ele é entendido como o controle possível ou provável (CARMO LUIZ e COHN, 2006).

Existem muitos conceitos e diferentes definições de risco em uso nas mais diversas áreas da ciência como psicologia, economia, ciências atuariais, ciências médicas e biológicas, engenharia e estatística (NARDOCCI, 1999).

RENN (1992) relacionou sete abordagens relacionadas a riscos que, na sua base conceitual, diferem na escolha das metodologias, na complexidade das medidas de risco e na função social e instrumental da abordagem:

- Abordagem atuarial (usando previsões estatísticas);
- Abordagem epidemiológica e toxicológica (incluindo ecotoxicologia);
- Abordagem de engenharia (incluindo a avaliação probabilística de risco);

- Abordagem econômica (incluindo comparações de risco-benefício);
- Abordagem psicológica;
- Teorias sociais; e
- Teoria cultural do risco.

Segundo Nardocci (1999) cada uma dessas abordagens procura ser absoluta dentro da sua área; porém os especialistas são unânimes em afirmar que os riscos devem ser abordados de forma holística.

Para Doderlein (1987) a tentativa de definir risco é um exercício inútil e em questões de definição devemos ser pragmáticos, pois definições bem elaboradas e em uso, somente serão válidas se forem úteis.

Existem muitas definições de risco que variam desde definições amplas como risco é a probabilidade de danos, doenças, ou morte sob condições específicas (RAMAN, 1990) até definições mais específicas como risco é a probabilidade que um efeito adverso ocorra em um indivíduo ou grupo que está exposto a uma dose particular ou concentração de um agente perigoso (LANGLEY e VAN ALPHEN, 1993). O Quadro 4.2 apresenta algumas definições de risco.

A análise da evolução dos estudos de risco mostra uma falta de coerência conceitual, refletida na ambigüidade e imprecisão dos conceitos e termos usados. Todas as definições objetivas de risco implicam uma associação entre a probabilidade de ocorrência de um evento e suas conseqüências, mas não de forma precisa e direta. A definição da SRA, por exemplo, fez referência à conseqüência para a vida humana, saúde, propriedade e ambiente, enquanto as demais definições não especificam o sujeito. Por outro lado, nenhuma delas esclarece quais os tipos de conseqüências efetivamente não são desejáveis (NARDOCCI, 1999).

Um elemento comum a todas as abordagens é considerar a existência de uma relação causal entre as ações do presente e seus efeitos futuros e, desta forma, caso suas causas forem evitadas ou modificadas seria possível evitar ou minimizar efeitos indesejáveis (RENN, 1992).

Para a caracterização de um risco, é necessária a existência simultânea de uma fonte e de um sujeito. A existência única, isolada, de uma situação perigosa sem a presença ou possibilidade de presença de um sujeito, não caracteriza risco. Por exemplo, o benzeno é uma substância potencialmente carcinogênica e, portanto,

representa um perigo. Mas, só se caracterizará efetivamente como um risco se houver a possibilidade de essa substância atingir as pessoas ou o ambiente.

Quadro 4.2 - Definições de risco

Fonte	Definição proposta
<i>The Royal Society of London (1983)</i>	A probabilidade de um evento adverso particular ocorrer durante um dado período de tempo ou resultar de um desafio particular.
Plano Nacional de Política Ambiental (1989) – Holanda	As conseqüências indesejadas de uma atividade particular em relação à probabilidade de que elas possam ocorrer.
Sociedade Internacional de Análise de Riscos (SRA)	O potencial de realização de uma conseqüência indesejável, adversa para a vida humana, saúde, propriedade ou ambiente; a estimativa de risco usualmente é baseada no valor esperado da probabilidade condicional do evento multiplicado pelas suas conseqüências, dado que ele ocorra.
Brehmer (1987)	Risco é a probabilidade de perda; Risco é o tamanho da possível perda; Risco é uma função geralmente do produto da probabilidade e o tamanho da perda; Risco é igual à variância da distribuição de probabilidade de todas as conseqüências negativas apenas, e com relação a algum valor de referência adotado; Risco é a combinação linear ponderada da variância e do valor esperado da distribuição de todas as conseqüências possíveis.

Fonte: Nardocci (1999), Brilhante e Caldas (1999).

O sujeito pode ser representado por um indivíduo ou por um grupo de indivíduos que habitam uma região, cidade, estado, país ou o planeta. Pode também ser representado por qualquer outro organismo do ecossistema, animal ou vegetal, que deverá ser visto e entendido, não isoladamente, mas “como um complexo relacionamento desordenado, interativo, dinâmico e constante de energia e matéria nos meios físico, biológico e social, possuindo uma capacidade auto-organizativa e reprodutiva que permite a geração e manutenção da vida” (ALMEIDA, 2008 – pg. 2).

Outra imprecisão é encontrada no uso dos conceitos de risco e perigo. Durante muito tempo eles foram empregados como sinônimos na literatura científica. A distinção entre eles foi proposta pelo comitê fundador da Sociedade Internacional

de Análise de Riscos, em 1980 (KRIMSKY e GOLDING, 1992). Risco, então foi caracterizado como um conceito probabilístico; enquanto perigo⁽¹⁾ foi referido como uma característica ou propriedade inerente a uma atividade, substância ou situação que em determinada circunstância, pode levar a danos (NARDOCCI, 1999).

O conceito de perigo é, portanto, exclusivamente qualitativo e não apresenta variações significativas em seu conteúdo e sempre está relacionado a alguma propriedade inerentemente perigosa (NARDOCCI, 1999). A conexão entre risco e perigo é denominada evento, ou seja, uma situação em que o sujeito fica exposto ao perigo. Por exemplo, uma água contaminada em um poço raso constitui um perigo e não risco, uma vez que pode causar doença a alguém que esteja exposto. Já um evento em que uma pessoa beba a água desse poço, pode levar à estimativa da probabilidade e severidade e, assim, ao risco. Portanto, só existe risco quando existir algo ou alguém (sujeito) exposto a um perigo. Os riscos podem ser modelados como uma cadeia ou seqüência de eventos como mostra a Figura 4.3.

Figura 4.3 - Sequência de eventos perigosos.

Fonte: Kirchhoff (2004).

⁽¹⁾ Perigo é também usado na avaliação de risco que envolve a água para consumo humano para fazer referência aos agentes que podem causar danos - um exemplo de perigo microbiológico é o *Vibrio cholerae*, agente etiológico do cólera.

Outra fonte de confusão acontece com os termos risco e incerteza, muitas vezes usados com a mesma conotação. A incerteza está presente em todos os problemas ambientais, mas nem sempre se lida com ela explicitamente, pois é a condição sob a qual não se tem a necessária informação para atribuir probabilidades para os resultados, o que dificulta a definição do problema e a identificação de soluções alternativas (KIRCHHOFF, 2004).

Ela representa a ignorância parcial ou falta de informações perfeitas sobre fenômenos ou modelos mal caracterizados e, fundamentalmente, é uma propriedade do analista de risco e ela pode ser reduzida através de medidas e estudos adicionais (RAUCHER et al., 1999).

Risco, por sua vez, pode ser estimado quantitativa ou qualitativamente. Se a probabilidade e a severidade podem ser quantificadas, o risco é simplesmente igual à probabilidade do evento versus a severidade das conseqüências do evento. No entanto, estimar o risco nem sempre é tarefa fácil, pois, muitas vezes, as conseqüências de um evento podem ser incertas ou discutíveis.

4.9 ASPECTOS HISTÓRICOS DOS ESTUDOS DE RISCO

O conceito científico de risco surgiu no século XVII como fruto do desenvolvimento do estudo matemático sobre as chances de ganhos em jogos de azar. O risco representava a probabilidade de um evento ocorrer, combinada com a magnitude de perdas e ganhos. Nessa época, Pierre Fermat e Blaise Pascal (1654), ao descreverem matematicamente o cálculo de probabilidades transformaram a natureza da evidência, do conhecimento, da autoridade e da lógica e tornaram o estudo das probabilidades a base do conhecimento científico. O pensamento probabilístico foi essencial para a indústria, para a ciência moderna e para a filosofia, por fornecer uma maneira moderna de pensar e considerar os riscos como passíveis de controle. Todo o processo tinha sua probabilidade de sucesso ou falha e o cálculo de risco foi usado para tomada de decisões (DOUGLAS, 1990; SPINK, 2001).

No século XVIII, a análise de risco foi útil para o comércio marítimo, pois permitiu confrontar a chance de uma embarcação retornar em segurança, com a possibilidade de perdê-la em alto mar e, desta forma, trazer a fortuna ou a ruína ao seu proprietário. Desde então, o conceito de risco é usado para auxiliar a tomada de decisões através da análise da relação risco-benefício. Mas, neste sentido, o referido

conceito é neutro, pois considera apenas a probabilidade de ganhos e perdas (COVELLO e MUMPOWER, 1985).

Na área da saúde, Ayres (1997) relata que o termo risco inicialmente foi empregado com conotação proto-epidemiológica pelo patologista britânico William Toppley, então pesquisador da *London School of Hygiene and Tropical Medicine*. Em uma conferência lida perante o *Royal College of Physicians* em 1919. Toppley assim descreveu seus estudos de “epidemiologia experimental”: “*No último estágio (da epidemia provocada), quando mortes ainda ocorriam nas gaiolas, o risco de infecção parecia ter chegado a um mínimo, dado que quase todos os ratos introduzidos neste estágio sobreviveram*”.

Entre as décadas de 1940 e 1950, com a crescente industrialização dos Estados Unidos, as avaliações de riscos começaram a ser usadas nas refinarias de petróleo, usinas nucleares e no programa aeroespacial (PEPE RAZZOLINI e NARDOCCI, 2006).

O risco como um conceito quantitativo consolidou-se definitivamente após a Segunda Guerra Mundial, com o crescimento do securitarismo nos Estados Unidos. O securitarismo consistiu na transferência para a iniciativa privada da responsabilidade do Estado pela manutenção do bem-estar e da saúde da população. Ele era baseado em um modelo assistencial de elevada e progressiva sofisticação tecnológica e nas dimensões individuais do processo saúde-doença em que seu uso e custo estavam baseados em cálculos atuariais. Assim, o conceito de risco emergiu como uma ferramenta importante na nova “indústria da segurança”, pois permitia estimar os custos individuais da privatização da área da saúde. Para o setor industrial possibilitou a redução dos custos das empresas com seguros, indenizações e perdas geradas por acidentes severos e paradas prolongadas de operação em um momento de acelerado ritmo de produção.

Na segunda metade do século XX teve início o estudo científico formal com as análises de riscos associadas às tecnologias e aos desastres naturais (NARDOCCI, 1999).

A década de 1970 foi um período de elevado interesse em relação aos efeitos da tecnologia sobre o ambiente. Segundo Freitas (2002) alguns fatores contribuíram, de diferentes modos, para a ampliação do interesse e da preocupação da sociedade organizada com os riscos:

- A publicidade, pela imprensa de crianças com deformações congênitas, como no caso da talidomida;
- A publicação de livros, como “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson, em 1962, sobre a revolução verde e os altos riscos para a saúde e o ambiente gerado pelo uso intensivo de praguicidas;
- A descoberta dos efeitos danosos da dioxina como substância química altamente perigosa e presente no herbicida “Agente Laranja” usado de modo intensivo em plantações e na Guerra do Vietnã;
- Os acidentes químicos de Seveso (1976) e *Three Mile Island* (1979);
- As controvérsias entre os especialistas sobre os riscos à saúde e ao ambiente, tornadas públicas pela imprensa.

Esses fatores mostraram a fragilidade com que os riscos eram geridos desde a década de 60, particularmente aqueles de origem industrial e tecnológica. A sociedade solicitou com urgência uma regulamentação governamental rigorosa, por conta das evidências científicas que várias substâncias químicas podiam induzir ao câncer ou outras doenças. Para auxiliar a tomada de decisões se desenvolveram procedimentos para identificar os perigos crônicos à saúde e estimar os riscos à saúde humana devido a produtos e atividades. Esses procedimentos foram elevados ao papel formal de Avaliação de Risco, no início da década de 1970, a partir das atividades desenvolvidas pela *American Conference Governmental Hygienist Industrial (ACGHI)* e pelas Agências Federais dos Estados Unidos, *Food and Drug Agency (FDA)* e *United States Environmental Protection Agency (USEPA)*.

A ACGHI instituiu vários limites máximos para exposição de trabalhadores à substâncias químicas perigosas, o FDA foi o primeiro a estabelecer valores de doses aceitáveis para ingestão de alimentos contendo resíduos de praguicidas e aditivos. Em meados de 1970, a USEPA e o FDA publicaram os primeiros guias para serem estimados os riscos associados a baixos níveis de exposições a produtos químicos potencialmente carcinogênicos. Esses guias recomendavam que deveriam ser iniciadas ações reguladoras quando, considerado o período de vida de uma pessoa, existisse o risco de aparecimento de um caso extra de câncer na população de 100.000 pessoas para o USEPA, ou de 1.000.000 de pessoas, para o FDA. Os riscos estimados abaixo desses limites eram desprezíveis, uma vez que acrescentavam

individualmente muito pouco à taxa de 240.000 mortes por câncer para cada 1.000.000 de pessoas que morriam todos os anos nos Estados Unidos (BRILHANTE e CALDAS, 1999).

Entretanto, ao invés de diminuir a controvérsia ao atender as decisões regulamentares, os procedimentos foram foco de críticas de cientistas, representantes da indústria e de grupos de interesses. As críticas em relação à avaliação de risco eram dirigidas principalmente:

- aos aspectos administrativos ligados a condução do processo;
- às decisões tomadas pelas agências reguladoras federais relacionadas aos perigos crônicos à saúde e à capacidade científica e tecnológica para detectar substâncias químicas potencialmente perigosas e,
- ao fato de os custos e benefícios das políticas regulatórias serem distribuídos de forma desigual para os diferentes grupos da população.

Em 1983 o *Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health* da *National Research Council* (NRC, 1983), apresentou relatório dos estudos realizados sobre o processo de avaliação de risco desenvolvido nos Estados Unidos. Este documento é reconhecido internacionalmente como o primeiro código de procedimentos para a avaliação de risco em saúde. Esse código – que foi desenvolvido para caracterizar os efeitos adversos de agentes na saúde humana, particularmente originários da exposição à substâncias químicas – dividiu a Avaliação de Risco em quatro partes distintas: identificação do risco, avaliação da dose-resposta, avaliação da exposição e caracterização do risco. Esse documento apresenta as seguintes conclusões:

- Deveriam ser elaboradas diretrizes gerais para a avaliação de risco com instruções claras das inferências feitas em cada fase, de forma a atender os interesses das agências reguladoras, indústrias e público em geral. Essas diretrizes deveriam ser usadas por todas as agências governamentais.
- O problema básico na avaliação de risco estava na escassez e na qualidade das informações científicas relativas aos perigos à saúde identificados; esse problema não tinha solução em curto prazo. Essa área de conhecimento teria que ser desenvolvida rapidamente, e as melhorias na avaliação de risco deveriam ser resultantes da aquisição de mais e melhores informações que diminuiriam a

necessidade de confiar em inferências e julgamentos de especialistas para transpor lacunas do conhecimento.

- Recomendou que as agências regulatórias adotassem medidas para manter clara a distinção conceitual entre avaliação de riscos e a gestão de risco e que a descoberta científica e o julgamento político incorporado na avaliação de risco deveriam ser explicitamente diferenciados das considerações políticas, econômicas e técnicas que influenciam o projeto e a escolha de estratégias regulatórias ligadas a gestão de risco (NRC, 1983).

O rápido desenvolvimento tecnológico nos Estados Unidos levou ao surgimento de inúmeras situações de risco que, associadas à descoberta de vários sítios contaminados, impulsionaram a opinião pública a pressionar o congresso para tornar mais rígidas as leis e os procedimentos de controle e prevenção de risco. Assim, em 1990, foi constituída, pelo Congresso norte-americano, uma Comissão de Avaliação e Gestão de Risco encarregada de fazer ampla investigação sobre as implicações políticas e o uso adequado da avaliação e gestão de risco na elaboração de leis para a prevenção de câncer e de outros efeitos crônicos à saúde humana, oriundos da exposição a substâncias perigosas. No relatório publicado (*Commission on Risk Assessment and Risk Management, 1996*) a comissão propôs que o gerenciamento de risco tivesse a capacidade de abordar conjuntamente os vários contaminantes, fontes de exposições, valores sociais e éticos, e percepções humanas. Sugeriu que o gerenciamento deveria ser suficientemente claro e abrangente, para ser adotado e usado pelos gestores de risco em diferentes situações; flexível, para que seu uso pudesse ser adaptado à importância da decisão a ser tomada e que fornecesse subsídios para tomada de decisões aceitáveis. A comissão propôs um procedimento integrado de gestão de risco que fosse além do clássico controle ambiental baseado nas técnicas do “*end-of-pipe*”, o qual incluísse mecanismos capazes de proporcionar o desenvolvimento sustentável. Tal procedimento, obviamente, requer o conhecimento e entendimento das interações existentes entre saúde ambiental e qualidade da vida humana (THE PRESIDENTIAL/CONGRESSIONAL COMMISSION ON RISK ASSESSMENT AND RISK MANAGEMENT (1997)).

Freitas resumiu assim a evolução dos conceitos e procedimentos envolvidos na avaliação e gestão de risco:

“As avaliações de risco emergem em determinado período histórico como resposta técnica a um problema simultaneamente social. Essa resposta dá-se por meio da formalização de técnicas qualitativas e quantitativas com o objetivo de avaliar as causas e conseqüências das exposições ambientais aos agentes perigosos para, a partir daí, estabelecer as estratégias de gerenciamento de riscos. Essa maior formalização ocorre em paralelo com o processo de institucionalização da avaliação de riscos, tornando-se, por meio de legislações instrumento para as tomadas de decisões principalmente nos Estados Unidos e em alguns países da Europa.

Exemplo desse processo de institucionalização, atingindo níveis internacionais, encontra-se na Agenda 21, que tem como uma das áreas programáticas, a “expansão e aceleração da avaliação internacional dos riscos químicos” (FREITAS, 2002, p. 230).

Por outro lado, os estudos de percepção de risco tiveram início ainda em 1960, com a análise do comportamento da população residente em áreas sujeitas a desastres naturais, enchentes por exemplo. Essa população tinha um comportamento irracional, uma vez que se recusava a desocupar a área e ignorava o alerta para os riscos. A percepção pública do risco era diferente das avaliações técnicas e, desta forma, a aceitabilidade do risco por parte da população não poderia ser baseada apenas em critérios técnicos, mas deveria considerar os componentes políticos e sociais (GOLDING, 1992).

Para Nardocci (1999) o termo percepção, de certa forma, é inadequado, pois implica a existência de um risco objetivo real, medido pelas avaliações técnicas, o qual seria percebido pelo público. Os riscos objetivos são números, não são objetos reais e, de fato; os riscos não são percebidos, mas sim um conjunto de circunstâncias que proporcionam “sentimento de risco”. Os estudos de percepção introduziram nova dimensão ao conceito de risco: a dimensão subjetiva. Os riscos existem em relação a uma estrutura cognitiva de valores e padrões e os fenômenos de risco requerem avaliações objetiva e subjetiva. A avaliação objetiva é baseada em cálculos matemáticos e estatísticos, enquanto a subjetiva diz respeito aos julgamentos intuitivos.

Na década de 1980 além das perspectivas técnicas e psicológicas, também ganharam importância a perspectiva cultural e a sociológica. A perspectiva sociológica do risco tem enfatizado os aspectos organizacionais, os impactos sociológicos dos acidentes, a análise da distribuição dos riscos entre as diferentes classes sociais, a equidade, justiça e ética, a análise do papel da mídia e da comunicação e da própria legitimação do conhecimento científico (KRIMSKY e GOLDING, 1992). Na abordagem cultural, risco é tratado como um fenômeno socialmente construído (NARDOCCI, 1999).

A participação da sociedade na discussão dos problemas ambientais e os riscos envolvidos deu origem à divergências envolvendo os vários atores sociais, como indústria, órgãos ambientais e população. Esses debates, em geral, têm colocado, de um lado, técnicos e cientistas que alegam que a população em geral tende a exagerar os riscos por desconhecer o assunto e, de outro, os leigos e representantes de organizações populares que acusam os cientistas de minimizarem os riscos para favorecer os interesses empresariais. Para atender a estas situações foi introduzido um novo instrumento denominado comunicação de riscos, cuja principal finalidade é levar informações dos especialistas para o público leigo (USEPA, 2007a).

Deste modo, os estudos de risco objetivo foram concentrados em três áreas: avaliação, gerenciamento e comunicação de riscos, detalhados a seguir.

4.10 AVALIAÇÃO, GESTÃO, COMUNICAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS

Além dos termos avaliação, gestão e comunicação de riscos – inicialmente usados em estudos relacionados aos riscos a saúde humana devido à exposição a substâncias químicas perigosas, principalmente a agentes carcinogênicos – na literatura técnica também há menção à terminologia “análise de risco”, cuja definição e principais técnicas serão abordadas no final deste item.

4.10.1 Avaliação de riscos

Procedimento usado para sintetizar as informações disponíveis e os julgamentos sobre elas com o objetivo determinar a probabilidade de efeitos adversos em humanos, outras espécies e ecossistemas expostos aos agentes perigosos e proporcionar a mais completa informação possível aos responsáveis por controlar os riscos, especificamente aqueles que estabelecem políticas e normas.

Na sua forma clássica, a avaliação de riscos encontra-se entre a pesquisa e a gestão de riscos, conforme mostra a Figura 4.4, ela é constituída das seguintes etapas:

1. Identificação de perigos
2. Avaliação da relação dose-resposta
3. Avaliação de exposição
4. Caracterização de riscos.

Figura 4.4 - Etapas da Avaliação e Gestão de Riscos.
Fonte: adaptado de NRC (1983).

A partir da caracterização dos riscos são tomadas as decisões para redução de riscos, através de estratégias de gestão de risco; estratégias essas que podem sofrer interferências de fatores culturais, sociais, políticos e econômicos. As ações de gestão de riscos são mediadas por processos que, simultaneamente, envolvem as avaliações de risco e a legitimação política.

É possível encontrar outras formas de estrutura para a avaliação de riscos, além da forma clássica apresentada acima, as quais foram adaptadas para diferentes áreas. No Quadro 4.3 é mostrado um exemplo de processo de avaliação e gerenciamento de riscos usado na área de Higiene Ocupacional. Por outro lado a

Avaliação de Risco Ambiental (ARA) procura quantificar os riscos à saúde humana, aos bens econômicos e aos ecossistemas; riscos que são gerados a partir de atividades humanas ou de fenômenos naturais que causam perturbações ao ambiente. A ARA é dividida em quatro etapas:

1. Identificação dos perigos
2. Estimativa da probabilidade/frequência
3. Análise das consequências
4. Caracterização dos riscos.

Quadro 4.3 - Processo Global de Avaliação e Gerenciamento de Riscos

Quadro 13 – Processo Global de Avaliação e Gerenciamento de Riscos		
Avaliação de Risco	Análise de risco	1. Identificação do fator de risco
		2. Estimativa de risco
	Análise de Opções	3. Desenvolvimento de opções
		4. Análise de Opções

Gerenciamento de Risco	5. Tomada de decisão	
	6. Implementação	
	7. Monitorização e Avaliação	
	8. Revisão	

Fonte: adaptado de Canadá (1993).

Neste texto será detalhada apenas a estrutura clássica da avaliação de risco, proposta pela *National Academic Scientific* (NRC, 1983), também conhecida como “Paradigma do Risco Químico” porque a partir dela é que foram desenvolvidos estudos da avaliação de riscos para abastecimento de água.

4.10.1.1 Identificação de perigos

A etapa de identificação do perigo tem por objetivo obter e avaliar as informações relacionadas às propriedades tóxicas inerentes a cada agente, ou o potencial para causar dano biológico, doença ou óbito, sob certas condições de

exposição. Ela também inclui a caracterização do comportamento de uma substância dentro do corpo e as interações que ela tem com órgãos, células ou componentes celulares.

Este tipo de informação é valioso para confirmar se os efeitos comprovadamente tóxicos de determinada substância, em certas condições experimentais, também poderiam intoxicar seres humanos, ou seja, de modo mais geral: é cientificamente correto inferir que os efeitos tóxicos observados em certo meio ocorram em outros. Exemplo desse questionamento diz respeito à possibilidade de substâncias, com efeitos carcinogênicos ou teratogênicos em animais, produzirem os mesmos efeitos em seres humanos.

As informações sobre as propriedades tóxicas das substâncias químicas são obtidas a partir de estudos em animais, investigações epidemiológicas controladas em populações humanas expostas e estudos clínicos ou informes de casos sobre seres humanos expostos. Outras informações toxicológicas são obtidas por meio de estudos experimentais em sistemas que não são completos (órgãos isolados, células ou componentes celulares) e pela análise da estrutura molecular da substância de interesse.

Para algumas substâncias, a base de dados disponível pode incluir valiosas informações sobre os efeitos em seres humanos e em animais de laboratório, assim como informações sobre os mecanismos biológicos básicos para a produção de uma ou mais formas de toxicidade. Em outros casos, a base de dados pode ser limitada e referir apenas alguns estudos de experimentos em animais.

Há situações nas quais todos os dados disponíveis podem apontar claramente uma só direção, logo sem dar possibilidades de cogitações acerca da natureza da toxicidade associada à determinada substância. Entretanto, em alguns casos, os dados podem incluir conjuntos de estudos epidemiológicos ou experimentais aparentemente conflitantes. A avaliação apropriada do perigo deve conter uma revisão crítica de cada conjunto de dados pertinentes e, também, da base de informações sobre toxicidade. Também deve incluir a avaliação das inferências sobre toxicidade em populações humanas que podem ter sido expostas a determinado contaminante (USEPA, 1989).

As pesquisas sobre toxicidade a partir de estudos em animais têm por base a suposição de que os efeitos em seres humanos podem ser previstos a partir dos efeitos em animais. Entretanto, apesar de ser bem fundamentado o princípio geral de,

a partir de efeitos em animais de experimentação, inferir efeitos para seres humanos; sobre ele são relatadas numerosas exceções. Muitas dessas exceções estão relacionadas às diferentes formas de as espécies interagirem à substância a que estejam expostas e, também, às diferenças de metabolismo, absorção, distribuição e eliminação dessas substâncias no organismo – os denominados aspectos toxicocinéticos. Por esses motivos ao inferir toxicidade para seres humanos a partir de resultados de estudos toxicológicos em animais é essencial avaliar cuidadosamente todas as diferenças existentes entre espécies.

Em estudos com seres humanos as informações são obtidas a partir de quatro fontes: estudos epidemiológicos; estudos de correlação, nos quais as diferenças nas taxas de doença em populações humanas estão associadas às diferenças de condições ambientais; estudos de casos elaborados por equipes de saúde; e descrição dos sintomas informados pelas próprias pessoas expostas (FREITAS, 2002).

Apesar de serem muito importantes, os estudos clínicos ou informes de casos de uma investigação raramente constituem o corpo central de informações para a avaliação de risco. Estas duas últimas fontes de informação do potencial tóxico são consideradas indicadores menos seguros e menos precisos.

As provas oriundas de estudos experimentais em animais e os resultados de estudos epidemiológicos constituem as principais fontes de dados sobre toxicidade; porém, ainda assim, apresentam dificuldades interpretativas que, por vezes, são bastante sutis e controversas. Nos estudos de laboratório, embora haja maior controle das variáveis, existe o fato de tratar-se de outra espécie que não a humana. Estudos epidemiológicos, embora baseados em situações reais de exposição de seres humanos, os problemas estão relacionados à variabilidade genética e ao não controle de todas as variáveis (DEPARTMENT OF HEALTH AND AGEING AND ENHEALTH COUNCIL, 2004).

Para Deere et al. (2001), a identificação de perigos é componente chave da avaliação qualitativa e quantitativa de risco e, também, da gestão de riscos. A identificação de perigos é a identificação dos constituintes da água para consumo humano que pode ter o potencial de causar danos para o usuário. Os agentes ou perigos na água para consumo humano que podem causar danos podem ser: microbiológicos, físicos, químicos ou radiológicos e devem ser considerados juntamente com os eventos que resultam na introdução da contaminação. Exemplos de eventos perigosos na água de consumo humano são chuvas, rupturas em

tubulações e falhas no tratamento da água. No caso específico dos riscos relacionados a microrganismos, a avaliação de perigos é constituída na identificação de um agente patogênico como agente de potencial significância.

O resultado da identificação de perigos é uma decisão relacionada à principal consequência a ser quantificada na avaliação formal de risco. Para os microrganismos, as consequências podem incluir a infecção (sem sintomas aparentes), a morbidade ou a mortalidade. Esses eventos podem ocorrer na população em geral ou em maior frequência nas sub-populações suscetíveis. Embora a mortalidade devida a agentes microbiológicos, mesmo na população geral, não possa ser considerada desprezível (Haas et al., 1993), na microbiologia da água, a tendência tem sido considerar a infecção, na população em geral, como aquele perigo em particular para o qual é necessária proteção. A justificativa para isto está baseada no balanço entre o grau de conservadorismo inerente ao uso da infecção como um dano (*endpoint*) e a atual falta de capacidade para quantificar os riscos nas sub-populações mais suscetíveis (MACLER e REGLI, 1993).

As maiores tarefas de uma avaliação microbiológica quantitativa de risco estão focadas na avaliação da exposição, na análise da dose-resposta e na caracterização de risco (DEERE et al., 2001).

4.10.1.2 Avaliação da relação dose-resposta

O passo seguinte é estimar as relações entre dose e resposta para as diversas formas de toxicidade mostradas pela substância em estudo. Ainda que estejam disponíveis bons estudos epidemiológicos, raramente há dados quantitativos confiáveis sobre a exposição. Na maioria dos casos, os estudos dose-resposta são obtidos a partir de estudos em animais.

A avaliação dose-resposta implica considerar três problemas: geralmente, os animais em estudos experimentais estão expostos a doses altas e os efeitos a doses baixas em humanos devem ser previstos utilizando-se teorias relativas na forma da curva dose-resposta; os animais e os seres humanos freqüentemente diferem em suscetibilidade, ao menos em diferença de tamanho e de metabolismo; a população humana é muito heterogênea, alguns indivíduos são mais suscetíveis do que a média (FREITAS, 2002).

É importante observar que as respostas tóxicas podem ser de vários tipos, independente do órgão ou do sistema afetado. Para algumas, a gravidade do dano

aumenta à medida que aumenta a dose, ou seja, o efeito é proporcional à dose. Como exemplo dessa situação, podemos imaginar certa substância que afete o fígado. As doses mais altas podem destruir células hepáticas, talvez em número suficiente para destruir o fígado e causar a morte de alguns ou de todos os animais de experimentação. Com a diminuição das doses, menos células são destruídas, mas pode haver outras formas de dano que provocam alterações em seu funcionamento, pois ainda que não haja destruição de célula alguma, podem aparecer leves alterações de função ou da estrutura celular. Finalmente, pode-se chegar a determinado nível de dose na qual não seja observado qualquer, ou que apenas sejam detectadas alterações bioquímicas que não produzam efeitos adversos conhecidos (USEPA, 1989).

Em outros casos, a gravidade do efeito pode não aumentar com a dose, mas a incidência do efeito aumentará com a elevação do nível da dose. Assim, à medida que a dose é aumentada, a fração de seres vivos (humanos ou animais) que experimenta efeitos adversos, ou seja, a incidência da enfermidade ou dano também aumentará. Para doses suficientemente altas, todos os expostos apresentarão o efeito.

Nesta etapa, o pressuposto básico é que a cada nível de dose corresponderá determinada resposta ou efeito do organismo. Assim é fundamental estabelecer os níveis críticos para estimar os riscos a partir dos dados das situações reais de exposição.

Na análise dose-resposta que envolve perigos microbiológicos na água de consumo humano, via de regra é necessário ajustar uma relação paramétrica dose-resposta a partir de dados experimentais, isto porque o risco desejável que servirá para proteger a saúde pública é frequentemente menor do que aquela que pode ser diretamente medido em estudos experimentais. Por esta razão é necessário extrapolar uma curva dose-resposta ajustada para uma região de pequenas doses (HAAS et al., 2001).

Para muitos microrganismos estão disponíveis estudos de dose-resposta humana que podem ser usados para estimar os efeitos à exposições em baixo nível para microrganismos. Existem dois modelos semi-mecanicistas que descrevem o processo de infecção. O modelo exponencial parte da hipótese de ocorrência aleatória de microrganismos e de uma constante que representa a probabilidade do início da infecção por um único organismo (k). A probabilidade de infecção (P_i) é dada como uma função da dose ingerida (d) por:

$$P_l = 1 - 10^{-k \cdot d} \quad \text{Equação 4.1}$$

Para muitos microrganismos, a relação dose-resposta é inferior à dose expressa pela equação 4.1, sugerindo haver certa heterogeneidade na interação entre organismo e hospedeiro. O modelo beta-Poisson pode descrever melhor esta situação. Este modelo foi obtido a partir do modelo exponencial (equação 4.1) e considerou que a infecção pode ser descrita através da distribuição de probabilidade beta (HAAS e EISENBERG, 2001). Este modelo é descrito por dois parâmetros, uma dose infecciosa mediana (N_{50}) e o parâmetro declividade (α):

$$P_l = 1 - \left[1 + \frac{d}{N_{50}} (2^{1/\alpha} - 1) \right]^{-\alpha} \quad \text{Equação 4.2}$$

Os modelos exponencial e beta-Poisson são duas relações dose-resposta que podem ser desenvolvidas para hipóteses plausíveis biologicamente em relação ao processo de infecção. O Quadro 4.4 indica os parâmetros que melhor ajustam a dose-resposta para esses modelos, para determinado número de agentes patogênicos humanos. A partir desses modelos semi-mecanicistas existe uma variedade de modelos empíricos, entre os quais, o log-logístico, Weibull e o log-probit, que têm sido usados, principalmente na avaliação de riscos químicos.

4.10.1.3 Avaliação da exposição

As medidas e estimativas da exposição de seres humanos em contato com agentes perigosos – associadas à apropriadas suposições acerca dos efeitos à saúde – constituem método padrão utilizado para determinar os níveis de exposições das populações sob condições específicas. A exposição é definida como o contato que uma pessoa tem com agentes químicos, físicos ou biológicos ao nível dos limites exteriores do seu organismo, durante determinado período de tempo.

Os componentes da avaliação da exposição envolvem:

- identificação de como e onde o perigo entra no sistema;
- determinação de quem está exposto ao perigo e identificação das vias de exposição;
- estimativa da magnitude do perigo que atingirá o consumidor; e
- determinação da quantidade, frequência e a duração da exposição ao perigo.

Quadro 4.4 - Tabela de parâmetros dose-resposta para humanos.

Organismo	Modelos		
	Exponencial	Beta Poisson	
	k	N ₅₀	α
Poliovirus I (Minor)	109,8700		
Rotavirus		6,17	0,2531
Hepatite A vírus ^(a)	1,8229		
Adenovirus 4	2,3970		
Coxsackie ^(b)	69,1000		
Salmonella ^(c)		23.600	0,3126
Salmonella thiposa		3,60x10 ⁶	
Shigella ^(d)		1120	0,2100
Escherichia coli ^(e)		8,60x10 ⁷	0,1778
Campylobacter jejuni		896	0,1450
Vibrio cholera		243	0,2500
Entamoeba coli		341	0,1008
Cryptosporidium parvum	238,0000		
Giardia lamblia	50,2300		
^(a) dose em gramas de fezes de indivíduos infectados ^(b) Cepas B4 e A21 em conjunto ^(c) Cepas múltiplas patogênicas (não-tifóide) (<i>S. pullorum</i> excluída) ^(d) flexnerii e dysenteriae em conjunto ^(e) Cepas não enterohemorrágicas (exceto O111).			

Fonte: adaptado de Haas e Eisenberg (2001).

Seu objetivo é fornecer subsídios para proteção e promoção da saúde pública. De modo geral, considera-se mais rápido medir diretamente a exposição em humanos, entretanto, é possível medir os níveis das substâncias perigosas por meio da monitorização ambiental⁽²⁾ ou biológica⁽³⁾ (FREITAS, 2002).

⁽²⁾ **Monitorização ambiental** é a medida da concentração ou intensidade dos agentes presentes no ambiente, de forma periódica ou contínua, para estimar a contaminação do ambiente, a exposição dos indivíduos, e comparar os resultados com referências apropriadas e estimar os riscos à saúde (FUNDACENTRO, 2001).

⁽³⁾ **Monitorização Biológica** é a medida e avaliação periódica ou contínua da concentração de agentes contaminantes, ou de seus produtos de biotransformação, em tecidos, secreções, ar exalado ou alguma combinação destes, para estimar a exposição, comparar os resultados com referências apropriadas e estimar os riscos à saúde (FUNDACENTRO, 2001).

Contudo, na maioria dos casos, é preciso conhecimento detalhado dos fatores que contribuem para a exposição humana, incluindo não apenas aqueles relacionados aos efeitos sobre os seres humanos, mas, também, os que determinam o comportamento da substância ao atingir o meio ambiente no qual as pessoas vivem e trabalham. Dependendo da substância, a quantidade de informação disponível pode variar bastante e simplesmente se limitar a valores de monitoramento ambiental ou biológico empregados de forma isolada.

As principais questões que orientam a avaliação da exposição em seres humanos são: Onde se encontra a substância? Como as pessoas se encontram expostas a ela? Quais são as vias de exposição? Qual o grau de absorção pelas diversas vias de exposição? Quem está exposto? Há grupos de alto risco? Qual a magnitude, duração e frequência da exposição?

É importante notar que, nesta etapa, devem ser considerados os diversos aspectos que contribuem para que determinados grupos populacionais estejam expostos aos perigos de certas substâncias. Para a compreensão dos processos e das práticas sociais envolvidas na exposição dos diferentes grupos populacionais, necessariamente, terão que ser envolvidas outras áreas de conhecimento além da toxicologia e epidemiologia, como a antropologia e a sociologia (FREITAS, 2002).

Na avaliação de riscos microbiológicos o objetivo de uma avaliação de exposição é determinar as doses de microrganismos que normalmente são consumidas pelo usuário da água. Na microbiologia da água, pode ser necessário estimar as concentrações dos microrganismos na água bruta, seguido da estimativa das prováveis mudanças nas concentrações microbianas, as quais provavelmente ocorrerão durante o tratamento, reservação e distribuição até o usuário final (REGLI et al., 1991, ROSE et al., 1991). Na avaliação da exposição, também é importante definir a quantidade de material ingerido por exposição. Como “padrão” é usado o valor de dois litros por pessoa-dia para estimar a exposição à água de consumo humano, embora alguns pesquisadores considerem este valor como conservador (ROSEBERRY e BURMASTER, 1992).

4.10.1.4 Caracterização de riscos

O processo de caracterização do risco é a síntese dos mais importantes resultados da avaliação de riscos. Ela integra e reúne as informações das etapas de identificação de perigo, da avaliação da relação dose-resposta e da avaliação de

exposição, para fazer estimativas do risco para os cenários de exposição de interesse. Seu propósito é fornecer o relato dos objetivos, do alcance e nível de detalhamento dos resultados e da abordagem utilizada na avaliação, identificando o cenário ou os cenários de exposição utilizados. As forças e limitações, ou seja, as incertezas dos dados e métodos de estimativas são expostas de forma clara. Ao final, é apresentado o perfil qualitativo ou quantitativo do risco em seres humanos provocado pela exposição a substâncias tóxicas. Seus objetivos são: integrar e resumir a identificação do perigo, a avaliação da relação dose-resposta e a avaliação de exposição; desenvolver estimativas de riscos para a saúde pública; desenvolver um marco para definir o significado do risco; e apresentar as suposições, incertezas e juízos científicos (USEPA, 1989).

A caracterização do risco é etapa absolutamente necessária na geração de qualquer relatório sobre risco, porque ela será usada, inicialmente, para dar suporte à alocação de recursos para estudos mais avançados ou para apoiar decisões regulamentadoras. No primeiro caso, a caracterização não é tão detalhada, enquanto no último, ela deve ser completa (FREITAS, 2002).

Mesmo que um documento cubra somente algumas partes da avaliação de risco (por exemplo, identificação do perigo e da dose-resposta), os seus resultados devem ser caracterizados. A avaliação de risco é um processo iterativo que cresce em profundidade e alcance nos diversos estágios em que busca estabelecer prioridades, realizar estimativas preliminares e examinar a situação do modo mais completo possível para dar suporte à tomada de decisões regulamentadoras. Considerações padronizadas são utilizadas em todos os estágios, apesar de se ter em conta o fato de que nenhuma base de dados é completa. Conhecido o espectro de prioridades e de problemas, bem como o alcance e a profundidade das avaliações, nem todas as caracterizações do risco podem ou devem ser iguais. O avaliador de risco precisa decidir cuidadosamente quais questões, em particular, são importantes para serem apresentadas e selecionar aquelas que são dignas de atenção pelo seu impacto nos resultados (HAAS e EISENBERG, 2001).

O processo de caracterização de risco combina informações sobre exposição da relação dose-resposta dentro de uma estimativa geral da probabilidade de uma consequência adversa.

Dois aspectos da caracterização de risco merecem mais comentários. Geralmente, as informações disponíveis para microrganismos que parasitam

humanos e animais referem-se à resposta para doses simples. Na verdadeira exposição ambiental ou de alimentos, as doses podem ocorrer em tempo maior; ou pode mesmo acontecer em tempo relativamente contínuo. Na ausência de dados específicos do impacto da exposição anterior sobre o risco, na projeção do risco para uma série de doses, a hipótese usada tem sido que os riscos são independentes (HAAS et al., 1996).

As principais técnicas usadas na avaliação de riscos são:

- Avaliação de Árvores de Eventos (AAE);
- Análise por Diagrama de Blocos (ADB);
- Análise de Causas e Conseqüências (ACC);
- Análise de Árvores de Falhas (AAF);
- Management Oversight and Risk Tree (MORT).

Há também técnicas específicas para identificação de riscos, entre as quais se destacam:

- What-If (WI)
- Técnica de Incidentes Críticos (TIC)
- Lista de Verificação (*Checklist*)

4.10.2 Gestão de Riscos

Constitui a etapa posterior à avaliação de riscos na qual é feita a discussão das alternativas técnicas e políticas e a seleção das ações regulatórias mais apropriadas. Trata-se do processo de formulação e implantação de medidas e procedimentos com a finalidade de prevenir, reduzir e controlar os riscos presentes em uma atividade, integrando o resultado da etapa de caracterização de risco com considerações técnicas, econômicas e políticas, para a tomada de decisão (NRC, 1983).

Gestão de Risco é o processo de identificação, avaliação, seleção e implantação de ações para reduzir os riscos a saúde humana e ecossistemas. A Gestão de Risco deve ser cientificamente confiável, custo – eficaz e estabelecer ações integradas que reduzam ou previnam riscos levando em consideração os aspectos sociais, culturais, éticos, políticos e legais.

Esta definição de gestão de risco – é mais ampla do que as definições tradicionais, que estão restritas ao processo de avaliar alternativas de ações regulatórias e selecioná-las – foi dividida em seis estágios (THE PRESIDENTIAL/CONGRESSIONAL COMMISSION ON RISK ASSESSMENT AND RISK MANAGEMENT, 1997):

- Formular o problema em um contexto abrangente;
- Analisar os riscos associados com os problemas no contexto;
- Examinar opções para identificar os riscos;
- Tomar decisões sobre quais opções implementar;
- Viabilizar meios para que as decisões (intervenções) sejam implementadas;
- Conduzir uma avaliação dos resultados das ações executadas.

Este processo deve ser conduzido com a colaboração de todos os interessados e, caso sejam disponibilizadas novas informações que modifique as necessidades ou a natureza da gestão de risco, é necessária nova interação, como mostra esquematicamente a Figura 4.5. Segundo Kirchhoff (2004) deve ser meta da gestão de risco especificar, de forma clara e objetiva, as atribuições e responsabilidades dos envolvidos, além disso, ela deve ser continuamente reavaliada para aprimorar as medidas propostas para redução dos riscos.

A Gestão de Risco trata do processo decisório que leva em consideração fatores como: avaliação de risco, facilidade tecnológica, relação custo/benefício, análise custo/eficácia⁽⁴⁾, preocupações do público e outras atitudes eminentemente políticas (BRILHANTE e CALDAS, 1999).

Segundo *The Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management* uma boa gestão de risco deve ser orientada por cinco princípios básicos:

⁽⁴⁾ A análise custo-eficácia é um dos instrumentos de avaliação econômica usados para medir a eficiência da prestação de serviços. A eficiência é obtida a partir de um determinado resultado ao menor custo ou que esse resultado se rentabiliza ao máximo um dado custo. A análise de custo-eficácia pode responder se uma intervenção é eficiente ou se vale a pena substituí-la por outra intervenção mais eficiente, ou seja, uma intervenção custo-eficaz (ONUSIDA, 1998).

- A proporcionalidade entre as medidas tomadas e o nível de proteção procurado.
- A não discriminação na aplicação das medidas.
- A coerência das medidas com as já tomadas em situações similares ou que usem abordagens similares.
- O exame das vantagens e desvantagens resultantes da ação ou da não-ação.
- O reexame das medidas à luz da evolução científica (THE PRESIDENTIAL/CONGRESSIONAL COMMISSION ON RISK ASSESSMENT AND RISK MANAGEMENT, 1997).

Figura 4.5 - Estrutura proposta para a Gestão de Risco

Fonte: adaptado de THE PRESIDENTIAL/CONGRESSIONAL COMMISSION ON RISK ASSESSMENT AND RISK MANAGEMENT (1997).

4.10.3 Comunicação de Riscos

A comunicação de riscos surgiu nos Estados Unidos, na década de 80, como estratégia estruturada para lidar com os riscos ambientais e ocupacionais, a ser desenvolvida tanto por indústrias como por órgãos governamentais. Ela surgiu com o

objetivo de informar sobre os riscos à segurança e à saúde aos quais as pessoas estão expostas, a partir dos acidentes tidos como clássicos, como: Seveso - Itália (1976), México (1984), Vila Socó-Cubatão (1984), Bhopal – Índia (1984); esses acidentes, segundo seus analistas, tiveram como um dos denominadores comuns, a ausência da comunicação de risco. Em sua origem, essa comunicação está voltada para situações emergenciais, como acidentes de grande vulto, que afetam dramaticamente populações e o ambiente. Nos países em desenvolvimento, a comunicação de risco aparece em meio à análise da sociedade de risco, como necessidade de processo de regulamentação sanitária, para proteger a população e promover seus interesses sanitários e ambientais. É especialmente relacionada ao tema da confiança e credibilidade, uma política de comunicação do risco, para a construção da confiança de grupos populacionais com relação aos processos tecnológicos em curso na sociedade e à capacidade regulatória do Estado (RANGEL, 2007).

Essa política buscaria estimular os agentes reguladores a serem pró-ativos em suas interações com a mídia e outras fontes de informação confiáveis, fazendo aumentar a confiança da população em suas ações, influenciando positivamente na forma como pode ser feita a comunicação do risco pelos referidos meios. Lucchese (2001) destaca que a comunicação é altamente negligenciada pelas agências dos países periféricos que parecem ter grande dificuldade em trabalhar com a mesma. Esse autor cita o exemplo da implantação de próteses de silicone que se disseminou e contagiou a população como uma epidemia, desconhecendo-se os riscos implicados nesse procedimento.

No Brasil, os exemplos de escândalos e tragédias ocorridas se repetem; isso tem diminuído ainda mais a já problemática confiança da população nos órgãos reguladores e, mais que isso, tem abalado a credibilidade em serviços de saúde e de tecnologias biomédicas. Vale destacar, entre outras, as 94 mortes de velhinhos na Clínica Genoveva no Rio de Janeiro, em 1996; a tragédia do Instituto de Doenças Renais – IDR de Caruaru (Pernambuco), em 1996, causando a morte de 71 pacientes; as 22 mortes causadas pelo Celobar, em 2003 em Goiás. Nestes casos foi bastante precária a comunicação entre os sistemas de controle dos riscos sanitários e a população, fato devido à ausência de canais de comunicação. Para Lucchese (2001), a comunicação do risco é uma dimensão da regulação de risco sanitário ainda pouco desenvolvida pelos agentes reguladores, inclusive no Brasil, que concretiza a relação entre a avaliação do risco e a participação da sociedade, com o objetivo de a

sociedade poder realizar escolhas, sociais e individuais, com a melhor informação possível.

A comunicação na sociedade de risco apresenta três aspectos problemáticos: o primeiro é devido às formas de interação entre Estado ou organizações empresariais e as populações expostas a riscos e está relacionado às crises de confiança e credibilidade no processo regulador do risco pela sociedade. O segundo refere-se àquelas situações nas quais a comunicação em si é um risco ou potencializa riscos e está relacionado à forma como os meios de comunicação estão inseridos na sociedade. Atuam no estímulo ao consumo de bens e serviços que entram em choque com os interesses da saúde, tais como bebidas alcoólicas, medicamentos, alimentos e tecnologias diagnósticas e terapêuticas do campo biomédico, conforme os interesses econômicos, os quais atualmente são objeto de crescente regulação do Estado. O terceiro é devido aos modos como os meios de comunicação de massa constroem as notícias sobre situações de risco: apelam ao sensacionalismo, selecionam discursos, em meio a conflitos derivados das diferentes racionalidades e éticas com que operam na relação com os receptores das mensagens e com cientistas/peritos. Assim, diferentes meios constroem acontecimentos e oferecem sentidos distintos para situações de risco, aproximando-se ou afastando-se dos interesses de diferentes grupos sociais (RANGEL, 2007).

Contudo, a comunicação de risco desenvolve-se particularmente com foco no segundo aspecto, embora todos eles façam parte da relação risco e comunicação. Ela é definida como um processo interativo, de troca de informações entre indivíduos, grupos e instituições, e reconhecida como um campo de aplicação ou intervenção que opera com metodologias múltiplas, combinando pesquisa de opinião e de percepção de risco, grupos focais, análise de conteúdo, *surveys*, entrevistas individuais e testes de mensagens. Envolve atividades de ouvir e não somente de falar, veicula respostas às preocupações, opiniões, emoções e reações de vários atores sociais interessados em dialogar sobre a natureza do risco e as decisões a serem tomadas para sua minimização ou controle (RANGEL, 2007).

A *U.S. Public Health Services* (1995) define como princípios da comunicação de risco:

- Aceitar e envolver o público como parceiro legítimo;
- Planejar cuidadosamente e avaliar os esforços realizados;
- Ouvir as preocupações do público específico;

- Ser honesto, franco e aberto; coordenar;
- Colaborar com outras fontes confiáveis e
- Definir a necessidade de mídias e falar claramente.

Assim, a comunicação de risco pode ser vista como uma interação que propicie o diálogo e a participação efetiva da audiência, com o propósito de remover barreiras para uma comunicação e, ao mesmo tempo, estabeleça confiança e credibilidade na fonte de informação (RANGEL, 2007).

Segundo a psicologia social; as pessoas que enfrentam situações críticas com alto grau de preocupação processam apenas 20% das informações recebidas, em uma espécie de “paralisação cognitiva”. Esta situação poderia ser melhorada pelo entendimento e manejo de fatores que afetam a percepção de riscos e os níveis de confiança e credibilidade. Portanto a relação comunicação e risco deve ser entendida como “processo de explicação ou comunicação de informações sobre saúde e segurança ambiental ou risco” (SANTOS, 1990, p. 46).

A USEPA (2007a) definiu comunicação de risco como o processo de informar as pessoas sobre perigos, em potencial, sobre si mesmas, propriedades ou comunidades. Esta definição está apoiada no reconhecimento do fato de que a comunicação do risco, como qualquer outra forma de comunicação, ser um processo de duas vias, envolvendo a fonte que transmite a mensagem através de um canal de comunicação, seja televisão, rádio, ou jornal, para um receptor (SANTOS, 1990).

Portanto, a comunicação do risco é mais do que explicar claramente dados técnicos ou divulgar números para audiências leigas. A comunicação, para ser bem sucedida, deve ser entendida como um processo complexo que requer um conjunto de técnicas específicas, além da consciência de fatores que afetam o processo de comunicação e, principalmente, a percepção dos indivíduos que recebem a informação do risco.

4.10.4 Análise de Riscos

Os termos avaliação de risco e análise de risco têm sido usados como sinônimos, mas não são e a confusão decorre das diferenças de metodologias adotadas entre os países. No Canadá, a análise de risco é uma etapa da avaliação de risco, como mostra o Quadro 4.3; nos Estados Unidos a avaliação de risco é uma etapa dentro da análise de riscos (KIRCHHOFF, 2004). No Brasil, a Companhia de

Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB define a análise de riscos como o estudo quantitativo em uma instalação industrial, baseado em técnicas de identificação de perigos, estimativa de frequências e conseqüências, análise de vulnerabilidade e na estimativa e avaliação do risco; portanto, a avaliação de risco é parte integrante da análise de risco (CETESB, 2003).

Para Brilhante e Caldas (1999) a análise de risco constitui um importante instrumento para identificar riscos em uma unidade produtora ou em determinada atividade. Menos completa do que um estudo de Avaliação de Risco, normalmente é usada para identificação de riscos nas diferentes unidades de produção, permitindo a elaboração de mapas de risco do meio interno e externo. Para a realização de uma análise de risco é importante utilizar um procedimento estruturado. No início devem ser usadas técnicas apropriadas e simples com a finalidade de identificar os riscos mais sérios para, em seguida, serem aplicadas técnicas mais sofisticadas para avaliar a redução dos riscos.

O procedimento básico para uma análise de risco inclui:

- Identificação das falhas potenciais
- Cálculo da quantidade de material emitido quando ocorre uma falha;
- Cálculo do impacto de cada emissão nos equipamentos da indústria, nas pessoas e no ambiente.

A análise de risco deve ser aplicada apenas em partes de uma indústria; ela é mais efetiva quando realizada durante a fase de projeto da unidade, pois mudanças no próprio projeto, no arranjo geral e modificações no sítio ainda podem ser facilmente feitas (BRILHANTE e CALDAS, 1999).

Westrell (2004) relata que os riscos microbiológicos em sistemas urbanos devem ser tratados pela área de análise de risco, constituída por três componentes: avaliação de risco, gestão de risco e comunicação de risco, pois elas estão altamente relacionadas e devem ser tratadas conjuntamente.

No Brasil, a despeito da definição adotada pela CETESB, existe a tendência de a análise de risco ser considerada como o conjunto formado pela avaliação e gestão de risco (KIRCHHOFF, 2004). Contudo, neste estudo, será adotada a definição de análise de risco descrita por Westrell (2004), na qual os Planos de Segurança da Água foram baseados.

4.10.4.1 Técnicas usadas na Análise de Riscos

Existem várias técnicas usadas na análise de riscos; elas têm origem na área de saúde ocupacional, precisamente da Engenharia de Segurança de Sistemas e nos estudos de confiabilidade – fruto das atividades industriais na área aeronáutica, aeroespacial e nuclear nos Estados Unidos. As técnicas e metodologias aplicadas pela segurança dos sistemas, inicialmente foram usadas nas áreas militares e espacial e, a partir de 1970, foram incorporadas aos métodos para a solução de problemas de engenharia em geral.

As principais técnicas usadas para a análise de riscos são:

- Análise Preliminar de Perigos (APP);
- Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE);
- Análise de Operabilidade e Perigos (sigla em inglês, *HAZOP*)

Dentre estas técnicas será detalhada apenas a técnica Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE), porque a partir dela foi desenvolvida a APPCC – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle que, atualmente, é a base do Plano de Segurança da Água.

4.10.5 Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE)

A AMFE é um método de análise de produtos e processos que permite a avaliação sistemática e padronizada de possíveis falhas, estabelecendo suas consequências e orientando a adoção de medidas corretivas ou preventivas (HELMAN e ANDERY, 1995).

Esta técnica foi desenvolvida para determinar a confiabilidade de produtos complexos. Para isto é necessário o estabelecimento de como e quão frequentemente os componentes do produto podem falhar; então, a análise estendida é utilizada para avaliar os efeitos de tais falhas.

Apesar de ter uso bem geral, a AMFE é mais aplicável às indústrias de processo, principalmente quando o sistema em estudo possui instrumentos de controle, levantando necessidades adicionais e defeitos de projeto, definindo configurações seguras para os mesmos quando ocorrem falhas de componentes críticos ou suprimentos. A técnica auxilia, também, na determinação e encadeamento dos procedimentos para contingências operacionais, quando o sistema é colocado em

risco e a probabilidade de erro devido à ações não estruturadas é alta – dependendo da ação correta dos operadores.

A AMFE é realizada primeiramente de forma qualitativa, quer na revisão sistemática dos modos de falha do componente, na determinação de seus efeitos em outros componentes, quer ainda na determinação dos componentes cujas falhas têm efeito crítico na operação do sistema, sempre na busca de garantir danos mínimos ao sistema como um todo. Posteriormente, é possível proceder a análise quantitativa, para estabelecer a confiabilidade ou probabilidade de falha do sistema ou subsistema, a partir das probabilidades individuais de falha de seus componentes, e da determinação de como reduzir essas probabilidades (CARDELA, 1999).

Para proceder ao desenvolvimento da AMFE é importante conhecer o sistema no qual se atua; quais são sua função e objetivos; as restrições e limites sob os quais opera. O bom conhecimento do sistema no qual se atua é o primeiro passo para o sucesso na aplicação de qualquer técnica, seja ela de identificação de perigos, análise ou avaliação de riscos.

Conhecido o sistema e suas especificidades, é possível prosseguir na análise, cabendo à empresa idealizar o modelo que melhor se adapte a ela. A Figura 4.6 mostra esquematicamente um modelo para aplicação da AMFE.

AMFE - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS															
		() Projeto de Produto				() Projeto de Processo				Data do					
		() Revisão de Projeto de Produto				() Revisão de Projeto de Processo				Folha					
Cliente:		Aplicação:		Áreas envolvidas:				Data de Elaboração							
Data da última revisão de Projeto:		Produto/Processo:		Fornecedor:				Data da Próxima Revisão							
Item	Nome do componente / Processo	Função do Componente / Processo	Falhas Possíveis			Atual				Ação Corretiva		Resultado			
						Controles Atuais	Índices				Recomendações	Tomada	Índices		
			Modo	Efeito (s)	Causa (s)		O	G	D	R			O	G	D
Probabilidade de ocorrência - O			Gravidade - G			Probabilidade de Detecção - D			Risco - R						
Muito Remota	1	Apenas Perceptível	1	Muito Alta	1	Baixo	1 a 135								
Muito Pequena	2	Pouca Importância	2 a 3	Alta	2 a 3	Moderado	136 a 500								
Pequena	3	Moderadamente Grave	4 a 6	Moderada	4 a 6	Alto	501 a 1.000								
Moderada	4	Grave	7 a 8	Pequena	7 a 8										
Alta	5	Extremamente Grave	9 a 10	Muito Pequena	9										
Muito Alta	6			Muito Alta	10										

Figura 4.6 - Formulário para Análise de Modos e Falhas e Efeitos.
Fonte: Helman e Andery (1995).

De Cicco e Fantazzini (1994) propõem o seguinte procedimento para o preenchimento das várias colunas:

- Dividir o sistema em subsistemas que possam ser efetivamente controlados;
- Traçar diagramas de blocos funcionais do sistema e subsistemas, para determinar os inter-relacionamentos existentes;
- Preparar uma lista de verificação (*checklist*) dos componentes de cada subsistema e sua função específica;
- Determinar, através da análise de projetos e diagramas, os possíveis modos de falha que possam afetar outros componentes. Os modos básicos de falha devem ser agrupados em quatro categorias: falha em operar no instante prescrito; falha em cessar de operar; operação prematura e falha em operação;
- Indicar os efeitos de cada falha sobre outros componentes;
- Estimar a gravidade de cada falha específica de acordo com as categorias de risco, conforme o Quadro 4.6, para possibilitar a priorização de alternativas;
- Indicar os métodos usados para detecção de cada falha específica;
- Formular possíveis ações de compensação e reparos que podem ser adotadas para eliminar ou controlar cada falha específica e seus efeitos;
- Determinar as probabilidades de ocorrência de cada falha específica para possibilitar a análise quantitativa.

A AMFE, de forma geral, analisa os modos de falha de um produto. Porém, em um produto pode existir certos componentes ou conjunto de componentes que sejam especificamente críticos para a missão a que se destina o produto ou para a segurança do operador. Portanto, de acordo com Hammer (1993), a estes componentes críticos deve ser dada especial atenção, providenciando uma análise mais detalhada que a de outros. A AMFE é muito eficiente quando aplicada a sistemas mais simples e de falhas mais singelas, porém, quando a complexidade é maior, é recomendado o uso de outras técnicas, como por exemplo, a Análise de Árvore de Falhas.

4.10.6 Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC).

O sistema APPCC foi desenvolvido pela *Pillsbury Company*, em resposta aos requisitos de inocuidade impostos pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em 1959 para os alimentos produzidos para seus primeiros vôos tripulados. A NASA tinha, então, duas preocupações principais. A primeira

relacionada aos problemas que poderiam ocorrer com partículas de alimentos – migalhas – flutuando na cápsula espacial em condições de gravidade zero; a preocupação estava relacionada à possíveis interferências nos sofisticados circuitos eletrônicos.

A segunda preocupação dizia respeito à inocuidade dos alimentos que seriam consumidos pelos astronautas: em hipótese alguma esse alimento poderia conter microrganismos patogênicos ou suas toxinas, pois, um caso de diarreia em uma cápsula espacial teria consequências catastróficas.

A primeira preocupação, as migalhas de alimentos em gravidade zero, foi superada com o desenvolvimento de alimentos que podiam ser consumidos de uma só vez, embalados em envoltórios comestíveis especialmente formulados para manter o alimento unido. Além disso, vários tipos de embalagens, altamente especializadas, foram utilizados para minimizar a exposição dos alimentos durante o período de estocagem. A amostragem do produto final, para assegurar a qualidade microbiológica de cada lote de alimento espacial, mostrou ser impraticável, senão impossível.

Por isso fez-se necessário o desenvolvimento de uma abordagem alternativa, para ser obtido o nível de garantia exigido pela NASA para os alimentos destinados ao programa espacial. A princípio foi utilizado o "Programa Zero Defeitos" que havia sido desenvolvido para testar equipamentos utilizados no programa espacial. Esse programa utilizava uma série de provas não destrutivas para garantir que o equipamento funcionaria adequadamente. Entretanto, logo chegaram à conclusão que ele não era adequado para processos que envolvessem alimentos.

Assim foi adaptada a técnica de "Análise de Modos de Falhas e Efeitos"- (AMFE), que é baseada na obtenção de conhecimento e experiência da produção ou processamento do alimento, para prever o que poderia falhar, ou seja, quais seriam os "perigos potenciais" e mais, onde e em que parte do processo essa falha poderia ocorrer. Assim, com base nesse tipo de análise de perigos e associado aos fatores de risco específicos de um processo ou produto, seria possível selecionar os pontos em que medidas pudessem ser tomadas, ou observações pudessem ser feitas, para verificar se o processo havia sido controlado ou não. Se ficasse demonstrado que o processo estava fora de controle, haveria uma grande probabilidade de ocorrer algum problema com a inocuidade do alimento que estava sendo produzindo. Esses pontos, identificados ao longo do processo de produção, ficaram conhecidos como Pontos

Críticos de Controle. Assim, a APPCC foi desenvolvida para ser aplicada aos fatores associados à matéria prima, ingredientes, processo de produção, processamento e outros, para prevenir a ocorrência dos perigos e, desta forma, ser garantida a inocuidade final dos alimentos.

4.10.6.1 Os sete princípios da APPCC

Em 1989 o *National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods* (NACMCF) instituiu um grupo *Ad-Hoc* incumbido de traçar as linhas mestras para a aplicação da APPCC. Com base no material desenvolvido por esse grupo de trabalho, o NACMCF publicou um documento intitulado "Princípios APPCC para a Produção de Alimentos". Nesse documento o NACMCF definiu APPCC como "um enfoque sistemático para ser usado na produção de alimentos, como forma de garantir sua inocuidade," e apoiou seu uso em indústrias e agências governamentais de inspeção e controle; descreveu os seus sete princípios e, ainda, estabeleceu um guia para o desenvolvimento de um plano APPCC para qualquer tipo de alimento.

Os sete princípios da APPCC foram avaliados e aceitos pela indústria e agências governamentais; entretanto, após o assunto ser discutido em reuniões, cursos e seminários, foi questionada a utilidade da avaliação de perigo microbiológico, a qual faz parte do Princípio 1. A avaliação do perigo consistiu na classificação do alimento de acordo com características gerais, para depois enquadrá-lo em uma categoria de risco. Os problemas encontrados incluíam diferenças de interpretação das características gerais dos fatores de risco, além do fato de não haver conexão direta entre o Princípio 1 – análise de perigo – e o Princípio 2 – determinação dos pontos críticos de controle. Logo após, a comissão de higiene dos alimentos – *Codex Alimentarius*⁽⁵⁾ – instituiu um grupo de trabalho para estudar o tema APPCC.

⁽⁵⁾ A Comissão do *Codex alimentarius* foi criada em 1963 pela FAO e a OMS para desenvolver normas alimentares, regulamentos e outros textos relacionados a códigos de práticas sob o Programa Conjunto FAO/OMS de Normas Alimentares. Os objetivos principais deste Programa são a proteção da saúde do consumidor, a garantia de uso de regras claras de comercialização e a coordenação de todas as normas alimentares acordadas pelas organizações governamentais e não governamentais (*CODEX ALIMENTARIUS*, 2008).

Esse grupo de trabalho elaborou um relatório sobre a utilização da APPCC, com abordagem ligeiramente diferente para a aplicação dos princípios. Essa abordagem incluía uma análise dos perigos, sua identificação e as medidas preventivas (Princípio 1), além da recomendação para aplicação de uma série de perguntas denominadas "Árvore de Decisão da APPCC" para determinar os Pontos Críticos de Controle (PCCs) - Princípio 2. Esta Árvore é mostrada na Figura 4.7.

Figura 4.7 - Diagrama de Procedimentos para Identificação dos Pontos Críticos de Controle.

Fonte: adaptado de Mortimore e Wallace (2001).

Em 1991, o NACMCF reconvocou o Grupo de Trabalho APPCC para revisar o relatório de novembro de 1989 e, nessa oportunidade, foi preparado um novo documento com modificações dos sete princípios APPCC. As modificações mais

importantes foram introduzidas nos Princípios 1 e 2, com base nas recomendações do *Codex*.

O NACMCF adotou esse novo documento, denominou-o "Sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle" e estabeleceu que ele é um enfoque sistemático para a inocuidade dos alimentos e se apóia em sete princípios:

1. Efetuar uma análise de perigos e identificar as medidas preventivas.
2. Identificar os pontos críticos de controle (PCCs).
3. Estabelecer limites críticos para as medidas preventivas associadas a cada PCC.
4. Estabelecer os requisitos de controle (monitoramento) dos PCCs.
5. Estabelecer procedimentos para utilização dos resultados do monitoramento para ajustar o processo e manter o controle.
6. Estabelecer ações corretivas para o caso de desvio dos limites críticos. Estabelecer um sistema para registro de todos os controles.
7. Estabelecer procedimentos para verificar se o sistema funciona adequadamente.

4.10.6.2 Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), aplicada ao controle da qualidade da água para consumo humano.

O uso dos princípios da APPCC não deve ser diretamente aplicado à água para consumo humano porque existem muitas diferenças entre as maneiras como os alimentos e a água para consumo humano são produzidos e distribuídos. A APPCC não foi elaborada para sistemas de abastecimentos de água e não usa a abordagem Multi-Barreiras. Para a água de consumo humano os pontos de controle são complexos e difíceis de serem quantificados, contudo tem sido aplicado em diversos países com as devidas adaptações (MEDEMA e SMEETS, 2004).

A APPCC aplicada ao abastecimento de água é um sistema preventivo que busca a produção de água inócua para consumo humano. Ela está baseada na aplicação de princípios técnicos e científicos na captação, tratamento e distribuição de água desde o manancial até a torneira do consumidor (CCME, 2004).

O conceito básico destacado pela APPCC é a prevenção e não a inspeção ou análise do produto final. Os responsáveis pela operação dos sistemas de abastecimento de água devem conhecer todas as informações e os procedimentos relacionados à captação, adução, tratamento, reservação e distribuição da água, pois

somente assim será possível identificar o lugar onde a contaminação pode ocorrer e a maneira pela qual é possível evitá-la. Se for conhecido o "onde" e o "como", a prevenção torna-se simples e óbvia. O "onde" e o "como fazer" são representados pelas letras AP (Análise de Perigos) da sigla APPCC. As provas de controle da qualidade da água recaem sobre as letras PCC (Pontos Críticos de Controle) - a inspeção e à consulta a documentação apropriada permite comprovar que o produto foi elaborado dentro de critérios de segurança. Partindo-se desta premissa, a APPCC é a aplicação metódica e sistemática da ciência para planejar, controlar e documentar a segura produção da água.

A APPCC cobre todos os tipos de fatores de riscos ou perigos potenciais à inocuidade da água – biológicos, químicos, radiológicos e físicos – desde aqueles que ocorrem de forma natural na água, no ambiente ou, então, aqueles decorrentes de erros no processo de captação, tratamento e distribuição da água. Vale dizer que, se os perigos químicos são os mais temidos pelos consumidores, os perigos radiológicos os mais desconhecidos e os perigos físicos os mais comumente identificados (água com cor, turbidez, sabor e odor); sob o ponto de vista de saúde pública, os perigos biológicos são os mais importantes.

Para uso da APPCC em sistemas de abastecimentos de água há três problemas a serem considerados (KIWA, 2003):

- 1º. O controle sobre as mais importantes unidades do sistema de abastecimento de água, como o tratamento de água, por exemplo, pode não ser suficiente para garantir a sua inocuidade; pois é preciso levar em consideração o controle sobre as demais unidades nas avaliações de risco. Por exemplo, somente o controle da qualidade da água produzida na unidade de tratamento não é suficiente para evitar a entrada de contaminantes no sistema de abastecimento. Apesar de o tratamento ser muito importante, ele poderá ser pouco eficaz se houver possibilidade de os contaminantes ingressarem no sistema através das tubulações da rede de distribuição de água.
- 2º. Detecção dos dias críticos (efeito temporal, períodos de baixo desempenho do tratamento): a eficiência do tratamento varia e a maioria dos riscos está associada aos dias críticos – instantes em que ocorre baixo desempenho do tratamento.
- 3º. Detecção de *by-pass* em pontos críticos de controle (efeito espacial) tal como o baixo desempenho de um filtro em uma bateria de filtros. Se o desempenho desse único filtro estiver comprometido, o bom desempenho dos demais não

compensará o efeito negativo do filtro comprometido. A APPCC pode identificar os dias críticos, porém ela não é adequada para avaliar as rotas menores e os *bypass*.

A OMS concentrou esforços nas experiências existentes, que estavam baseadas na metodologia APPCC, para adequar sua estrutura à abordagem múltipla-barreiras e à inclusão de medidas de controle complexas; desses esforços surgiu o Plano de Segurança da Água – *Water Safety Plan*.

O PSA também incorporou à sua estrutura requisitos ligados à comunicação de riscos e à gestão da qualidade e desta forma tornou-se uma abordagem abrangente que, além de possibilitar um melhor controle da qualidade da água, permite um amplo conhecimento do sistema e facilita seu gerenciamento, pois cobre todo o processo de abastecimento de água.

4.11 PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA

O PSA foi desenvolvido para organizar e sistematizar uma longa prática de gestão dos sistemas de abastecimento de água e para assegurar o uso dessas práticas na gestão da qualidade da água para consumo humano. Esse Plano usa muito dos princípios e conceitos originados da avaliação, gestão de riscos e comunicação de risco e o Princípio Multi-Barreiras.

Alguns elementos do PSA frequentemente são usados como parte da rotina operacional dos serviços de abastecimento de água ou estão descritos nos manuais de boas práticas sem, entretanto, estarem diretamente ligados a um PSA. Também podem estar inclusos no sistema de gestão da qualidade pois, existindo boas práticas haverá facilidade de integração com os princípios do PSA. Contudo apesar da existência de boas práticas de gestão da qualidade, poderá não existir sistemas específicos de identificação e avaliação de riscos – etapa inicial em um sistema de gestão de riscos e de um PSA.

Os PSAs são poderosos instrumentos para os operadores de sistemas gerenciarem os seus com segurança. Eles podem auxiliar, também, a vigilância da qualidade da água feita pelas autoridades em saúde pública.

O PSA deve, de preferência, ser desenvolvido para cada sistema de abastecimento de água. Contudo, para pequenos sistemas, isso pode não ser factível e outras abordagens poderão ser utilizadas para o PSA, através de modelos de PSA

específicos para uma dada tecnologia ou com a elaboração de manuais técnicos para seu desenvolvimento. No caso de sistemas menores, o PSA poderá ser desenvolvido por uma instituição pública ou privada. Os Planos que tratam da água para consumo humano deveriam estar associados a programas de educação e higiene e treinamento dos moradores para assegurar a potabilidade da água.

Um PSA possui três componentes orientados para o atendimento das metas baseadas na saúde, os quais deverão ser supervisionados pela Vigilância da Qualidade da Água:

- Sistema de Avaliação para determinar se o sistema de abastecimento de água pode distribuir água até o ponto de consumo com qualidade suficiente para atender as metas baseadas na saúde. Isto também inclui a avaliação de critérios de projeto para os novos sistemas.
- Monitoramento das medidas de controle definidas para controlar coletivamente os riscos identificados em um sistema de abastecimento de água. Deve ser definido um meio para que o monitoramento operacional possa detectar, no menor tempo possível, desvios no desempenho do sistema, e
- Planejamento e gestão que descrevam as ações a serem tomadas durante a operação normal ou em condições de incidente, documentando o sistema de avaliação (incluindo atualização e melhoramento), monitoramento, plano de comunicação e programas de apoio.

A Figura 4.8 mostra o esquema geral de um Plano de Segurança da Água.

No PSA a questão fundamental da avaliação de risco: “Nós atendemos as metas?” é respondida pelo primeiro componente “Sistema de Avaliação. As questões relativas à gestão de risco: “Como nós garantimos e demonstramos que sempre atendemos estas metas?” e “Como é nossa resposta aos incidentes?” são respondidas pelos componentes “Monitoramento das medidas de controle” e “Planejamento e Gestão” (MEDEMA e SMEETS, 2004).

Os principais objetivos de um PSA são: assegurar boas práticas no abastecimento de água, diminuir a contaminação do manancial, reduzir ou remover os contaminantes através dos processos de tratamento e proteger a água durante sua reservação, distribuição e uso. Esses objetivos são aplicáveis a grandes sistemas de abastecimento de água, pequenos sistemas comunitários e até em sistemas individuais; eles são avaliados através de:

Figura 4.8 - Plano de Segurança da Água.
 Fonte: adaptado de WHO (2005a).

- Conhecimento detalhado do sistema e de sua capacidade para abastecer com água que atende as metas baseadas na saúde;
- Identificação de fontes potenciais de contaminação e como elas podem ser controladas;
- Validação das medidas de controle empregadas para controlar perigos;
- Desenvolvimento de um sistema de monitoramento das medidas de controle dentro de um sistema de abastecimento de água;
- Estabelecimento de ações corretivas rápidas para assegurar que a água distribuída é segura; e
- Verificação da qualidade da água para assegurar que o PSA está sendo executado corretamente e o seu desempenho avaliado para atender as metas baseadas na saúde.

Para que o PSA seja factível no controle de perigos e de eventos perigosos, é necessário estar apoiado em informações técnicas precisas e confiáveis. Esse processo de obtenção de evidências de que o PSA seja eficaz é conhecido como validação. Tais informações para otimizar os recursos poderão ser obtidas de entidades, de parcerias com órgãos públicos e privados, da literatura científica e técnica e do julgamento de especialistas. Para cada sistema estudado, devem ser validadas as especificações técnicas de cada equipamento e, também, a eficácia de cada barreira implantada. Para a validação específica do sistema é essencial levar em consideração as variações na composição da água em relação aos processos de remoção usados (WHO, 2004a).

A validação é uma forma de monitoramento mais abrangente e detalhada do que o monitoramento operacional de rotina, pois é orientada para verificar se as unidades do sistema realmente desempenham suas funções e atingem as metas previstas na avaliação do sistema. Via de regra, esse processo leva à melhoria no desempenho operacional, pois auxilia na identificação de mais efetivos e robustos modos de operação. O processo de validação pode incluir benefícios adicionais como a identificação de metas adequadas para o monitoramento operacional por unidade de desempenho (WHO, 2005a).

A verificação da qualidade da água é um indicador do desempenho geral do sistema de abastecimento de água e também da qualidade da água consumida. Ela

incorpora muito bem tanto a avaliação da qualidade da água como a avaliação da satisfação do serviço pelo consumidor (BARTRAM et al., 2009).

É responsabilidade do operador a preparação e o desenvolvimento do PSA. Esse plano deve ser analisado e aprovado pela autoridade responsável pela proteção à saúde pública a fim de garantir que o operador distribua água com qualidade que atenda aos padrões de potabilidade.

4.11.1 Sistema de Avaliação

O primeiro passo no desenvolvimento de um PSA é formar uma equipe multiprofissional de especialistas com amplo conhecimento do sistema de abastecimento a ser estudado. Normalmente, este grupo deve ser composto por indivíduos envolvidos em cada etapa de um sistema de abastecimento de água, desde engenheiros, gestores de recursos hídricos, especialistas em qualidade da água, profissionais ligados à saúde pública e ambiental, o corpo operacional e até representantes dos consumidores. Na maioria das situações, a equipe será composta por membros de várias instituições e também por alguns membros independentes, tais como profissionais de organizações não governamentais ou de universidades.

A gestão efetiva de um abastecimento de água requer amplo conhecimento do sistema, da magnitude dos riscos que estão presentes, das características dos processos existentes e da infra-estrutura de gestão disponível. Ela necessitará uma avaliação da capacidade do sistema para atender as metas baseadas na saúde. Quando um novo sistema ou uma atualização de um sistema existente estiver em planejamento o primeiro passo para desenvolvimento do PSA será coletar e avaliar todas as informações relevantes relacionadas ao novo projeto e identificar quais riscos podem estar presentes durante o abastecimento de água para o consumidor.

A avaliação de um sistema de abastecimento de água auxilia as etapas subseqüentes do PSA nos quais são planejadas e desenvolvidas estratégias eficazes para o controle dos riscos. A avaliação de um sistema de abastecimento de água é melhor compreendida através de um fluxograma. Os diagramas possibilitam uma visão geral do sistema de abastecimento de água, incluindo a caracterização do manancial, identificação de fontes de poluição potenciais, medidas para proteção dos recursos naturais e mananciais, processo de tratamento, reservação e infra-estrutura de distribuição. É essencial que a representação do sistema de abastecimento de água seja precisa. Se o fluxograma não estiver correto, é possível que alguns riscos

significativos deixem de ser considerados. O diagrama de fluxo deve ser validado através de uma revisão visual do diagrama em relação às características observadas em campo para garantir sua fidedignidade (WHO, 2005a).

Os dados da ocorrência de agentes patogênicos e químicos nas águas do manancial devem ser confrontados com as informações relativas à eficácia dos controles existentes e de uma avaliação da capacidade das unidades de tratamento em atender os padrões de potabilidade. As melhorias também podem auxiliar na identificação de medidas de gestão da bacia, processos de tratamento e sistema de distribuição, necessários para atingir as metas baseadas na saúde (WHO, 2004a).

Para assegurar a eficácia da avaliação, é essencial considerar as interações e influências de cada elemento, bem como o efeito do conjunto deles em relação ao sistema de abastecimento de água – bacia e proteção do manancial, tratamento e distribuição.

4.11.1.1 Priorização de riscos para controle

Uma vez que tenham sido identificados os riscos em potencial e suas fontes é interessante comparar o risco associado a cada perigo ou evento perigoso, para ser possível estabelecer e documentar as prioridades da gestão dos riscos. Embora existam numerosos contaminantes que podem comprometer a qualidade da água para consumo humano, nem todos os perigos necessitam o mesmo grau de atenção.

Os riscos associados a cada perigo ou evento perigoso podem ser descritos ou identificados pela probabilidade de sua ocorrência (certo, possível, raro) e avaliados pela severidade das consequências do perigo (insignificante, maior, catastrófico). O objetivo é distinguir e, de certa forma, classificar os perigos ou eventos perigosos em importantes e menos importantes. Neste caso, normalmente é empregada uma matriz semiquantitativa. As matrizes de simples contagem, ou semiquantitativas, usam informações técnicas de manuais, de literatura científica e de práticas industriais associadas à consultoria especializada que julgam amparadas na revisão por pares ou em padrões de referência. A pontuação é particular para cada sistema de abastecimento de água, conforme a especificidade de cada sistema. Para determinada tecnologia usada em pequenos sistemas de abastecimento de água podem ser desenvolvidos PSA genéricos cuja pontuação será específica à tecnologia escolhida (GODFREY et al., 2005a).

As medidas de controle são priorizadas a partir de uma escala de risco semiquantitativa. Um exemplo dessa matriz, ilustrado no Quadro 4.5, contou com a opinião de um consultor para fazer as avaliações dos riscos à saúde devido aos perigos e eventos perigosos encontrados.

Quadro 4.5 - Exemplo de uma matriz simples de escalas e classificação de riscos.

Probabilidade	Severidade das conseqüências				
	Insignificante	Inferior	Moderado	Maior	Catastrófico
Quase Certo					
Provável					
Moderadamente Provável					
Improvável					
Raro					

Fonte: adaptado de WHO (2004a).

Um exemplo de descritores que podem ser usados para medir a probabilidade de ocorrência e a severidade das conseqüências é dado no Quadro 4.6; é necessário determinar um limite acima do qual todos os perigos necessitam imediata atenção. Contudo, para unidades específicas do sistema de abastecimento de água, como no caso específico da avaliação de risco da rede de distribuição de água, estes descritores podem não ser adequados e devem ser adotadas outras formas de se caracterizar os riscos.

4.11.2 Medidas de controle

A avaliação e planejamento de medidas de controle devem assegurar que os padrões de potabilidade sejam alcançados e que eles estejam baseados na identificação e avaliação de perigos.

O nível de controle aplicado aos perigos deve ser proporcional ao encontrado na classificação. A avaliação das medidas de controle envolve:

- Identificar as medidas de controle existentes para cada perigo ou evento perigoso, desde o manancial até o consumidor;

- Avaliar se, consideradas em conjunto, as medidas de controle são efetivas para o controle dos risco; e
- Verificar se caso seja necessária alguma melhoria, quais medidas adicionais de controle devem ser aplicadas.

Quadro 4.6 - Exemplos de definições de classes de probabilidade e severidade que podem ser usada como escala de risco.

Item	Definição
Categorias de Probabilidade	
Quase certa	Uma vez por dia
Provável	Uma vez por semana
Moderadamente provável	Uma vez por mês
Improvável	Uma vez por ano
Raro	Uma vez a cada cinco anos
Categorias de Severidade	
Catastrófico	Potencialmente letal para toda população
Maior	Potencialmente letal para pequena população
Moderado	Potencialmente nocivo para toda população
Menor	Potencialmente nocivo para pequena população
Insignificante	Nenhum impacto ou não detectável

Fonte: adaptado de WHO (2005a).

Todas as medidas de controle são importantes e devem ser objeto de contínua atenção. A identificação e a implementação das medidas de controle devem ser baseadas no Princípio Multi-Barreiras. Essas medidas estão sujeitas ao controle e monitoramento operacional, que depende: do tipo de monitoramento a ser adotado, da frequência de coletas de dados e da velocidade em que as variações dos parâmetros ocorrem.

4.11.3 Monitoramento

O monitoramento avalia o desempenho das medidas de controle em determinado período de tempo. Os intervalos podem variar largamente – por exemplo, desde o controle contínuo de cloro residual (*on-line*), até a verificação quinzenal da integridade do cavalete de um poço profundo.

Para o operador, são dois os objetivos do monitoramento: verificar se cada medida de controle permite uma gestão eficaz do sistema durante um determinado período de tempo e assegurar que as metas baseadas na saúde estão sendo atendidas (BARTRAM et al., 2009).

4.11.4 Determinação de medidas de controle do sistema

Para Bartram et al., (2009) a identificação e o número de medidas de controle são específicos de cada sistema e serão determinados em função: do número e natureza dos perigos e da magnitude associada aos riscos. As medidas de controle refletem a probabilidade e as consequências da perda de controle e devem atender os seguintes requisitos:

- As metas de monitoramento operacional devem ser quantificadas, além de permitirem a fixação de limites para ser avaliada a sua eficácia operacional;
- As metas de monitoramento operacional devem ser controladas com frequência suficiente para revelar falhas no menor espaço de tempo possível; e
- Permitir o procedimento de ações corretivas em resposta aos desvios dos limites fixados e no menor período de tempo possível.

4.11.5 Seleção dos parâmetros de monitoramento operacional

Os parâmetros selecionados para o monitoramento operacional devem refletir a efetividade de cada medida de controle, proporcionar uma indicação de desempenho, ser medido facilmente e fornecer oportunidade para uma resposta adequada. Os exemplos incluem variáveis mensuráveis, tais como residuais de cloro, pH e turbidez, fatores observáveis, como a integridade do gradeamento na captação etc. O Quadro 4.7 apresenta alguns parâmetros que são usados com frequência no monitoramento operacional.

Os agentes patogênicos e os indicadores bacterianos têm uso limitado no monitoramento operacional, por necessitarem de elevado tempo para realização dos exames das amostras de água e, assim, não permitirem que sejam feitos ajustes operacionais antes do consumo da água pela população (GODFREY e HOWARD, 2005a).

Quadro 4.7 - Exemplos de parâmetros operacionais que podem ser usados para monitorar as medidas de controle.

Parâmetros Operacionais	Água Bruta	Coagulação	Sedimentação	Filtração	Desinfecção	Sistema de distribuição
pH	X	X		X	X	X
Turbidez (ou contagem de partículas)	X	X	X	X	X	X
Oxigênio Dissolvido	X					
Vazão do rio ou corpo d'água	X					
Precipitação pluviométrica	X					
Cor	X			X		X
Condutividade (sólidos totais dissolvidos)	X					
Carbono Orgânico Total	X			X		
Algas, toxinas algais e metabólitos	X			X		X
Dosagem química		X			X	
Vazão	X	X	X	X	X	X
Perdas de carga				X		X
C.t					X	
Desinfetante residual					X	X
Subprodutos da desinfecção	X				X	X
Pressão hidráulica						X

C.t = concentração do desinfetante versus tempo de contato.

Fonte: adaptado de WHO (2005a).

Vários parâmetros podem ser usados no monitoramento operacional:

- Para mananciais, os parâmetros escolhidos podem ser: turbidez, cor, crescimento de algas, vazão e tempo de retenção, pH, condutividade e dados meteorológicos locais.
- Para tratamento, os parâmetros selecionados incluem: concentração de desinfetantes e tempo de contato, pH, absorvância, integridade das membranas, turbidez e;
- Em sistemas de distribuição de água o monitoramento dos parâmetros operacionais pode incluir:
 - O monitoramento do cloro residual proporciona rápida indicação dos problemas ao invés das medidas diretas dos parâmetros microbiológicos. Um repentino desaparecimento do residual de cloro pode indicar a contaminação da água. Por outro lado, se houver dificuldade em manter residuais em pontos do sistema de distribuição ou se acontecer seu desaparecimento gradual, pode ser indicativo de alta demanda oxidante devido ao crescimento de bactérias na água ou na rede de distribuição.
 - Outro parâmetro de monitoramento operacional normalmente utilizado é a presença ou ausência de indicadores de bactérias termotolerantes. Entretanto, há agentes patogênicos que são mais resistentes à desinfecção do cloro do que os indicadores frequentemente usados – *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes, como são denominados atualmente. Portanto, em algumas circunstâncias pode ser mais adequado usar, como indicadores, microrganismos mais resistentes do que os indicadores bacterianos de contaminação fecal, tais como esporos anaeróbios e o *Clostridium perfringens*.
 - As bactérias heterotróficas presentes no sistema de abastecimento de água podem ser um útil indicador de mudanças, tais como o aumento do potencial de crescimento microbiano, aumento da atividade do biofilme, tempo de retenção elevado, estagnação ou ruptura na integridade do sistema.
 - As medidas de pressão e turbidez, assim como a contagem de algas também são parâmetros úteis para o monitoramento operacional dos sistemas de distribuição de água.

4.11.6 Limites operacionais e limites críticos

As medidas de controle necessitam ter limites definidos de aceitabilidade operacional – denominados limites operacionais - que podem ser aplicados para o monitoramento de parâmetros operacionais. Se o monitoramento indicar que um limite operacional foi excedido, então devem ser aplicadas ações corretivas pré-determinadas. A detecção do desvio e a implementação de medidas corretivas precisam ser realizadas em período de tempo apropriado o suficiente para manter o desempenho e a segurança do sistema de abastecimento de água. Para algumas medidas de controle, também deve ser definida uma segunda série de limites, denominados “limites críticos” com o objetivo de evitar a perda da segurança na água.

Os desvios detectados nos limites críticos necessitam ações urgentes, incluindo a notificação imediata às autoridades de saúde. Os limites críticos e operacionais podem ser superiores, inferiores, uma faixa ou um conjunto de medidas de desempenho.

4.11.7 Verificação

A verificação permite efetuar um exame final de todo o sistema de abastecimento de água. Deve ser feita por um órgão de vigilância ou, então, por um componente de controle da qualidade do operador. Além do monitoramento operacional do desempenho para a certificação que o sistema, como um todo, está operando com segurança. A verificação deve ser feita pelos operadores, por uma autoridade independente ou por uma combinação deles, dependendo do regime administrativo de cada país. Para tanto, geralmente são realizados exames físicos e microbiológicos e análises químicas previstas na legislação sanitária.

A verificação microbiológica em água tratada e distribuída é feita com o indicador fecal bacteriano. Para verificação da segurança química, devem ser feitas análises químicas no final do tratamento, na rede de distribuição e em pontos de consumo, se as concentrações do parâmetro variarem durante a distribuição (WHO, 2004a).

As frequências das coletas de amostras, determinadas em processo de amostragem, devem levar em consideração a relação custo/benefício. Para refletir os riscos associados com o aumento da população, a frequência das amostras

usualmente é determinada em função do tamanho da população abastecida ou do volume de água distribuído. São necessárias coletas freqüentes para os constituintes microbianos e menos freqüentes para constituintes químicos, isto porque episódios breves de contaminação microbiológica da água rapidamente podem levar agentes patogênicos aos consumidores; por outro lado, são raros os episódios agudos de contaminação química, exceto em um evento específico como, por exemplo, a superdosagem de produtos químicos na unidade de tratamento (WHO, 2005a).

4.11.7.1 Verificação da qualidade microbiológica

A verificação da qualidade microbiológica da água no abastecimento precisa ser planejada para obter a melhor chance de detecção da contaminação. O processo de amostragem deve considerar as variações da qualidade da água na rede de distribuição; normalmente isto significa levar em conta o ponto ou pontos de coleta de amostras e determinar a freqüência necessária para aumentar a probabilidade de a contaminação ser detectada (BARTRAM et al., 2009).

A contaminação fecal não está uniformemente distribuída no sistema de distribuição de água; em sistemas que têm boa qualidade, é reduzida a probabilidade de detecção de indicadores fecais bacterianos nas amostras coletadas (GODFREY e HOWARD, 2005a).

Em sistemas em que predominam resultados negativos para os indicadores fecais bacterianos, a probabilidade de detectar a contaminação microbiológica pode ser aumentada pelo uso mais freqüente do Teste Presença/Ausência (P/A) – o mais simples, mais rápido e menos caro dos métodos quantitativos. Estudos comparativos entre o teste P/A e os métodos quantitativos demonstraram que o Teste P/A pode maximizar a detecção de indicadores fecais bacterianos; contudo, o Teste P/A é apropriado para sistemas em que a maioria dos testes para indicadores apresentou resultados negativos (WHO, 2004a).

O mais freqüente é a água ser examinada através do uso de indicadores fecais, pois provavelmente será detectada a contaminação. Exames realizados com maior freqüência utilizando método simples são mais valiosos e úteis do que a aplicação de um teste complexo ou uma série de testes com baixa freqüência (WHO, 2005a).

A natureza e probabilidade da contaminação podem variar sazonalmente, com as chuvas e com as outras condições locais. O processo de amostragem deve programar coletas aleatórias, mas o número precisa ser aumentado em épocas de

epidemias, enchentes, operações de emergência seguida de interrupções do abastecimento ou após reparos na rede (WHO, 2005a).

4.11.7.2 Verificação da qualidade química

No desenvolvimento da verificação química da água é necessário considerar: a disponibilidade de instalações e equipamentos analíticos apropriados, o custo das análises, a possível deterioração das amostras e reagentes, a estabilidade dos contaminantes e reagentes, a ocorrência do contaminante em várias partes do sistema de abastecimento de água e o mais conveniente ponto para monitoramento (WHO, 2004a).

Para dada substância química, a localização e frequência de coleta de amostras serão determinadas em função das variações na qualidade da água do seu principal manancial. As substâncias que não variam suas concentrações ao longo do tempo necessitam coletas de amostras menos frequentes do que aquelas que variam significativamente.

Em muitos casos, pode ser adequado analisar amostras do manancial uma vez por ano, ou até menos, particularmente em águas subterrâneas estáveis, pois as concentrações das substâncias que ocorrem naturalmente na água variam muito pouco em relação o tempo. A presença de muitas substâncias são mais prováveis em águas superficiais, por isso, dependendo do contaminante e de sua importância sanitária faz-se necessário aumentar o número de amostras e a frequência das coletas.

O ponto de coleta das amostras dependerá das características da qualidade da água a ser examinada. As amostras rotineiramente coletadas na estação de tratamento ou no início do sistema de distribuição de água podem ter a frequência e o número de amostras estimados em função do comportamento de determinada substância ao longo do sistema de abastecimento de água. Algumas amostras precisam e devem ser coletadas nas extremidades do sistema de distribuição ou em torneiras conectadas diretamente à tubulação de alimentação das casas ou de grandes conjuntos residenciais. O chumbo, por exemplo, deveria ser rotineiramente amostrado nas torneiras dos consumidores, ainda que a principal fonte de chumbo seja usualmente a conexão de serviço ou tubos de chumbo em edifícios antigos (WHO, 2004a).

4.11.8 Gestão dos sistemas de abastecimento de água.

A Gestão efetiva implica na definição de ações a serem tomadas em resposta às variações que ocorrem durante as condições normais de operação ou, então, de ações a serem tomadas após um incidente específico em que haja perda do controle do sistema; e dos procedimentos a serem executados em situações imprevistas ou emergenciais. Os procedimentos gerenciais deveriam ser documentados em conjunto com o sistema de avaliação do sistema, o plano de monitoramento, os programas de apoio e a comunicação necessária, para assegurar a segura operação do sistema.

Muitos dos planos de gestão descrevem ações a serem tomadas a fim de manter a operação ótima do sistema, em resposta à variação dos parâmetros de monitoramento que tenham atingido seu limite operacional. Um desvio significativo no monitoramento operacional em que um limite crítico seja excedido é freqüentemente referido como “incidente”. Um incidente é uma situação em que haja razão para suspeitar que a água distribuída possa estar contaminada. Como parte de um PSA, deveriam ser definidos procedimentos de gestão para responder aos incidentes e para atender os incidentes imprevisíveis e emergenciais. São exemplos de incidentes:

- A não conformidade com critérios de monitoramento operacional;
- O desempenho inadequado de uma planta de tratamento de esgoto que disponha seus efluentes no manancial à montante da captação;
- Derramamento de uma substância perigosa no manancial;
- Falhas na alimentação de energia elétrica para uma medida de controle essencial;
- Chuvas extremas na captação;
- Detecção de alta turbidez não usual (manancial ou água tratada);
- Gosto não usual, odor ou aparência da água;
- Detecção não usual de altas densidades do indicador fecal no manancial ou na água tratada ou de alta densidade de agentes patogênicos no manancial; e
- Indicadores de saúde pública ou surtos de doenças de transmissão hídrica nos quais a água seja a fonte de contaminação (WHO, 2005a).

O Plano de resposta a incidentes pode ter uma variedade de níveis de alerta. Os incidentes podem ser minorados com a adoção de medidas preventivas que apenas através de uma investigação adicional pode indicar direto uma situação de

emergência. As emergências exigem recursos materiais e humanos dos serviços de abastecimento de água; precisam não só do operador do sistema de abastecimento de água mas, também, das autoridades de saúde pública.

Os Planos de resposta a incidentes geralmente compreendem:

- Definição de responsabilidades e comunicação direta com as pessoas-chave, freqüentemente incluindo várias organizações e indivíduos;
- Listagem de indicadores mensuráveis, condições ou valores limites que provocaram o incidente, acompanhado de uma escala de níveis de alerta;
- Descrição clara de ações necessárias para responder ao alerta;
- Localização e identificação dos procedimentos padronizados de operação (POPs) e dos equipamentos necessários;
- Locação de equipamentos reserva;
- Logística apropriada e disponibilidade de informação técnica; e
- Listas de verificações e manuais de referência.

O plano pode, ainda, ser acompanhado de boletins muito curtos, sistema de comunicação eficaz, treinamentos de atualização e documentação. Os funcionários devem ser treinados para atuar em incidentes ou emergências utilizando respostas efetivas e seguras. Os planos de resposta a incidentes ou emergências periodicamente devem ser revisados e praticados. Esta atitude melhora o preparo da equipe e dá oportunidades para aperfeiçoar os planos antes que ocorra uma emergência. Após um incidente ou emergência deve ser feita uma investigação que envolva todo o quadro de funcionários. Essa investigação deverá considerar os seguintes fatores:

- Qual foi a causa do problema?
- Como o problema foi primeiro reconhecido ou identificado?
- Quais foram as mais importantes ações necessárias?
- Quais foram os problemas de comunicação encontrados e como foram identificados?
- Quais foram as conseqüências imediatas e de longo termo?
- Como funcionou o Plano de Resposta à emergência?

Depois de uma emergência deve ser elaborado um relatório descrevendo o incidente ou emergência. O operador deve aprender com o incidente ou emergência como melhorar seu preparo e planejamento para enfrentar futuros incidentes. A análise do incidente ou emergência pode indicar a necessidade de revisão dos planos existentes. Também deve fazer parte do plano de resposta o preparo de procedimentos claros, a definição de responsabilidade, a provisão de equipamentos para fornecimento de água a locais estratégicos como escolas, hospitais e asilos e a coleta de amostras de água antes e durante o incidente. O Plano de Resposta pode, também, ser avaliado através da vigilância epidemiológica das doenças de veiculação hídrica ou outras investigações.

4.11.8.1 Incidentes Previsíveis (“desvios”)

Muitos incidentes – por exemplo, exceder um limite crítico – podem ser previstos e fazer resultar ações específicas descritas nos planos de gestão. As ações podem incluir, por exemplo, mudança temporária de manancial, aumento da dose de coagulantes, prever desinfecção complementar ou aumentar a concentração de desinfetante em sistemas de distribuição.

4.11.8.2 Eventos Não-Previsíveis

No Plano de resposta a incidentes podem não ser identificados alguns cenários que levam a água a se tornar potencialmente insegura, pelo fato de terem sido considerados improváveis para justificar medidas corretivas ou porque os eventos não eram previsíveis. Para estes eventos deverá ser desenvolvido um plano de resposta geral de incidentes. O plano deve ser usado para produzir um manual geral de incidentes, seguido por um manual específico de resposta para ser aplicado aos diversos tipos de incidentes. O sucesso das respostas a incidentes, via de regra, depende da experiência, julgamento e habilidade do pessoal da operação e gestão dos sistemas de abastecimento de água. Contudo, ações que são normalmente utilizadas na resposta a muitos incidentes podem ser incorporadas aos planos gerais de resposta a incidentes (WHO, 2005a).

4.11.8.3 Emergências

Os serviços de abastecimento de água devem desenvolver planos para serem utilizados em emergências. Esses planos devem considerar o potencial para desastres

naturais – terremotos, enchentes, danos elétricos de equipamentos após queda de raios, acidentes – derramamentos diversos na bacia de drenagem – danos na estação de tratamento e sistema de distribuição e ações humanas – greves e sabotagem. Os planos de emergência devem especificar claramente as responsabilidades pela coordenação e execução das medidas a serem tomadas: um plano de comunicação para alertar e informar os usuários do sistema de abastecimento de água e um plano para distribuí-la emergencialmente (WHO, 2004a).

Os planos devem ser elaborados a partir da consulta às autoridades sanitárias e deveriam ser compatíveis com a infra-estrutura local e nacional de resposta à emergências. Durante uma emergência na qual haja evidência de contaminação fecal na água do sistema de abastecimento, pode ser necessário alterar também o tratamento da água do manancial existente ou, temporariamente, usar um manancial alternativo. Pode ser preciso aumentar a desinfecção quando do tratamento da água do manancial ou proceder a recloração durante a distribuição (WHO, 2004a).

Quando não for possível manter a qualidade microbiológica da água é necessário informar aos consumidores da necessidade de fervê-la durante a emergência. O ato de ferver água pode apresentar riscos à saúde, como queimaduras, por isso o ideal é que o operador do sistema de abastecimento de água inicie imediatamente ações corretivas a fim de ser recuperado o controle da qualidade da água (WHO, 2005a).

Em emergências – por exemplo, durante surtos de doenças relacionadas à água ou quando é detectada sua contaminação – como resposta imediata em todo o sistema, os teores de cloro livre deverão ser aumentados para concentrações maiores de 0,5 mg/L.

Em situação de emergência, as autoridades em saúde pública devem ser consultadas sobre as ações a serem tomadas (WHO, 2004a).

4.11.8.4 Ordem para fechar o sistema, restringir o uso ou ferver a água.

Os planos de emergência para respostas a incidentes e eventos não planejados deveriam incluir uma avaliação antes de serem emitidas ordens para restringir o uso ou ferver a água. A ordem deve ser emitida pelas autoridades em saúde pública, pois tem por objetivo o interesse coletivo (WHO, 2004a).

A decisão de interromper a operação de um sistema de abastecimento de água carrega consigo a obrigação de o operador e a autoridade sanitária fornecerem uma

alternativa segura para o abastecimento de água da população. Essa decisão provoca a restrição ao acesso à água e pode ter efeitos adversos especialmente para a saúde e, portanto, raramente é justificável (WHO, 2004a).

A ordem para ferver a água, pode ter conseqüências negativas para a saúde pública devido à possibilidade de acidentes domésticos, como queimaduras. Além do mais, se o pedido de ferver a água for feito com frequência, ou se ele abranger um longo período, fatalmente haverá diminuição da resposta do público. No caso de a nota precisar ser emitida, é necessário que ela seja suficientemente clara para ser facilmente compreendida; caso contrário as informações poderão ser ignoradas devido à confusão sobre o que fazer e não fazer (WHO, 2004a).

4.11.9 Preparação de um Plano de Monitoramento

Segundo (WHO, 2005a), os planos devem ser desenvolvidos para monitoramento operacional e de verificação e precisam ser documentados como parte de um PSA, com detalhes das estratégias para cada tipo de monitoramento, de forma a abranger os vários aspectos do sistema de abastecimento de água. Além de documentados, os Planos de Monitoramento precisam incluir as seguintes informações sobre o processo de amostragem:

- Planejamento do processo de amostragem;
- Parâmetros a serem amostrados;
- Tamanho da amostra, localização dos pontos de coleta, frequência das coletas;
- Avaliação dos métodos e equipamentos;
- Metodologia para assegurar a qualidade e validação dos resultados;
- Requisitos para controle e interpretação dos resultados;
- Responsabilidades e necessidades de qualificação da equipe;
- Requisitos para documentação e gestão dos dados, incluindo como monitorar resultados, e
- Requisitos para produzir relatórios e comunicar resultados.

4.11.10 Programas de Apoio

Para garantir que determinada água é segura, além das medidas de controle, fazem-se necessárias ações importantes, as quais não afetam diretamente a qualidade da água e, portanto, não são medidas de controle. Elas são referidas como programas

de apoio e também devem ser documentados no PSA. Os programas de apoio devem envolver:

- Controle do acesso à Estação de Tratamento de água, represas e reservatórios;
- Desenvolvimento de protocolos de verificação da qualidade de produtos químicos e materiais usados no sistema de abastecimento de água;
- Uso de equipamentos projetados para atender incidentes como o rompimento de adutoras (todos os equipamentos deveriam ser de uso exclusivo para água potável e não ser usados para trabalhar com esgotos e vice-versa); e
- Programas educacionais voltados exclusivamente para o pessoal envolvido em atividades que poderiam influenciar na segurança de água; o treinamento deve ser implementado como parte de programas de integração e atualização.

Os programas de apoio são compostos, basicamente, de itens que os operadores e trabalhadores costumeiramente já realizam como parte de seu trabalho normal de operação (WHO, 2004a).

Além disso, devem ser implementados programas de apoio que envolvam:

- Reunir as práticas operacionais e as gerenciais;
- Revisar e atualizar as práticas, periodicamente;
- Promover boas práticas para encorajar seu uso, e
- Verificar se as práticas estão em uso e, se for o caso, tomar ações corretivas.

Para (WHO, 2005a) os Códigos de boa operação - práticas de gestão e de higiene são elementos importantes para bom desempenho dos programas. Frequentemente os códigos fazem parte de Programas Operacionais Padronizados (POPs). Eles incluem, mas não estão limitados a:

- Práticas documentadas de trabalho higiênico na manutenção;
- Atenção à higiene pessoal;
- Treinamento para incrementar a competência do pessoal envolvido na operação do sistema de abastecimento de água;
- Gestão para garantir a qualidade dos serviços, em todos os níveis, para provimento de água segura;
- Educação nas comunidades em que as atividades operacionais possam influenciar a qualidade da água;
- Calibração e monitoramento de equipamentos; e

- Desenvolvimento e disponibilização de banco de dados para consultas.

Os programas auxiliares podem ser amplos e envolver múltiplas organizações e indivíduos. Muitos desses programas auxiliares abrangem medidas de proteção dos recursos hídricos e incluem aspectos do uso e ocupação do solo. Algumas medidas de proteção dos recursos hídricos, como os processos de tratamento de efluentes e práticas de gestão da água de chuva, podem ser usadas como medidas de controle.

Uma boa prática é comparar os programas existentes com programas de outras operadoras. Essa comparação implementa o *benchmarking*⁽⁶⁾, estimula novas idéias e conduz à melhoria das práticas em uso (WHO, 2004a).

4.11.11 Documentação e Comunicação

Para (WHO, 2005a) a documentação do PSA deve incluir:

- Descrição e avaliação do sistema de abastecimento de água, incluindo programas para aperfeiçoar a distribuição da água;
- Plano para monitoramento operacional e verificação do sistema de abastecimento de água;
- Procedimentos de gestão da segurança da água para condições de operação normal, de incidentes (específicos e imprevistos) e em situações de emergência, incluindo planos de comunicação; e
- Descrição de programas de apoio.

As informações são essenciais para a revisão ou adequação do PSA e, também, para demonstrar a adequação do sistema de abastecimento de água ao PSA. Cinco tipos de informações são importantes:

- Documentação de apoio para desenvolvimento do PSA, inclusive;
- Relatórios das investigações de incidentes;
- Descrição das metodologias e procedimentos usados; e
- Programas de treinamento dos empregados.

⁽⁶⁾ *Benchmarking* é um processo sistemático e contínuo de avaliação dos produtos, serviços e processos de trabalho das organizações que são reconhecidas como representantes das melhores práticas, com a finalidade de comparar desempenhos e identificar oportunidades de melhoria em uma organização.

Pela análise dos dados do monitoramento operacional e da verificação, um operador ou gestor pode detectar se um processo está ou não próximo de seu limite crítico ou operacional. A revisão dos dados existentes pode ser útil para a identificação de tendências e para os ajustes operacionais necessários. A revisão periódica dos dados do PSA é recomendada para observação de tendências dos sistemas e tomada de decisões sobre ações a serem encaminhadas. Os referidos dados também são valiosos quando a vigilância da qualidade da água é realizada com base na auditoria (WHO, 2005a).

Estratégias de comunicação também devem incluir:

- Procedimentos para prontamente informar a existência de algum incidente significativo no sistema de abastecimento de água, inclusive com notificação às autoridades em saúde pública;
- Produção de informações claras e precisas para bom entendimento do consumidor, as quais devem ser disponibilizadas através de relatórios anuais e Internet, e
- Estabelecimento de mecanismos para receber e, em tempo adequado, encaminhar as críticas da comunidade às áreas afins (WHO, 2005a).

O direito do consumidor às informações sobre a saúde relacionadas ao abastecimento de água é fundamental e, no Brasil, este direito é garantido pelo Código de Defesa do Consumidor - Lei No. 8.078/1990 e pela Portaria do Ministério da Saúde No. 518/2004. Contudo, em muitas comunidades, o simples acesso às informações não assegura que os indivíduos estejam conscientes da qualidade da água que lhes é oferecida e, portanto, a probabilidade de consumirem água que não seja segura pode ser relativamente alta. Os órgãos responsáveis pelo monitoramento, portanto, deveriam desenvolver estratégias para difundir e explicar o significado das informações relacionadas à saúde (WHO, 2004a).

4.12 FONTES E TIPOS DE RISCOS

As fontes de risco são diversas e variam desde um simples objeto ou uma ação, passam pelas mudanças ambientais globais ou dizem respeito até ao próprio estilo de vida das pessoas. A água, o ar, o solo, a alimentação, os meios de transporte, o lazer, a energia etc. são fontes potenciais de riscos. Vivemos imersos

em um universo de perigos; alguns conhecidos, outros não. Todas estas fontes podem causar danos ao ecossistema e ao homem – direta e indiretamente. Seus efeitos podem ser imediatos ou agudos, de longo prazo ou crônicos e, inclusive, para futuras gerações.

Classificar riscos é tarefa complexa e, apesar da existência de várias propostas, até agora, nenhuma conseguiu satisfazer todos os interessados. As dificuldades encontradas dizem respeito à falta de coerência conceitual e à dificuldade em diferenciar com precisão os riscos, mesmo porque uma mesma atividade pode gerar, simultaneamente, várias classes e tipos de riscos.

Os riscos, conforme o sujeito, podem ser classificados em:

- Riscos para pessoas: refere-se aos riscos, intencional ou não, ligados à profissões ou a atividades perigosas ou insalubres que venham a provocar algum tipo de doença, lesão e, até mesmo, levar à óbito quem estiver exposto. Partiu daí a idéia de ser feito um seguro especial de parte do corpo humano com “maior” valor para o beneficiário. Por exemplo, as mãos dos pianistas e cirurgiões, as pernas dos bailarinos, a audição dos músicos e principalmente dos afinadores de instrumentos de corda e até mesmo a própria vida dos submarinistas, escafandristas etc.
- Riscos para o ambiente: trata do ativo e passivo ambiental atingidos pela contaminação, poluição, degradação ou devastação dos recursos naturais e, conseqüentemente, dos ecossistemas. Como exemplos temos a emissão de gases e vapores tóxicos por indústrias; a contaminação de mananciais por praguicidas e metais pesados; o efeito estufa por combustão de derivados de petróleo.
- Riscos para bens materiais: diz respeito à probabilidade da ocorrência de eventos inesperados, cujos custos são estimados e perdas contabilizadas no valor total do seguro. Por exemplo: seguro de veículos e cargas contra incêndios, roubos e furtos; corrosão de pontes e edifícios; e danos provocados por eventos naturais, como sismos e maremotos.

Na classe de risco para pessoas o fator humano é importante elemento a ser considerado na determinação do aumento ou diminuição do grau do risco no evento. Este fator condiciona a ocorrência do fenômeno, por depender da vontade do homem. Assim, a classe de risco para pessoas pode ser dividida em:

- Risco Voluntário: risco intencional que foi decidido pelo livre arbítrio do indivíduo, por exemplo, o ato de fumar cigarros.
- Risco Involuntário: risco que o indivíduo desconhece, não tem consciência do perigo ou não foi informado sobre o assunto; por exemplo, o consumo de água percebida como potável, porém contaminada.

Outras duas denominações dividem os riscos em subjetivos e objetivos. Os riscos objetivos são estimados a partir de cálculos estatísticos e metodologias quantitativas, enquanto os riscos subjetivos são avaliados com base em julgamentos intuitivos, incluindo os chamados riscos percebidos, em referência à avaliação da percepção humana em relação aos riscos a que estamos expostos. Entre os riscos objetivos existe grande variedade de classes, como riscos ambientais, riscos tecnológicos, riscos epidemiológicos, riscos à saúde humana, riscos industriais, riscos ecológicos, riscos acidentais e riscos naturais (NARDOCCI, 1999).

Os riscos ambientais podem caracterizar tanto os riscos para o ambiente, decorrentes de determinada atividade, como podem caracterizar os efeitos crônicos para a saúde humana em virtude de contaminações e de outros fatores ambientais. No Brasil, o termo riscos ambientais tem sido amplamente usado, sem muita preocupação com as questões conceituais. Na Legislação sobre Saúde do Trabalhador, especificamente, eles são utilizados com referência aos riscos ocupacionais, ou seja, riscos existentes em ambientes de trabalho (BRASIL, 1978a).

A terminologia riscos tecnológicos é empregada para riscos gerados por atividades tecnológicas que tenham efeitos sobre a saúde humana, enquanto a locução riscos ecológicos é usada para fazer referência a riscos decorrentes de fontes, de curto ou de longo prazo, sobre qualquer componente ambiental ou ecossistema.

Os riscos que têm como sujeito o ser humano e que estejam associados diretamente às atividades antropogênicas, são classificados em riscos tecnológicos, ambientais e epidemiológicos. Os riscos tecnológicos são os riscos à saúde humana, decorrentes de fenômenos acidentais não naturais e essencialmente caracterizados por efeitos imediatos. Os riscos ambientais são riscos à saúde humana, causados por fatores ou mudanças ambientais induzidos por atividades antropogênicas e associados a efeitos crônicos. Os riscos epidemiológicos são os riscos à saúde humana, imediatos e de longo prazo, associados ao estilo de vida da população, à doenças epidêmicas, ao uso de drogas, lícitas ou ilícitas etc. (ALMEIDA FILHO,

1992). Por sua vez os riscos naturais também têm o ser humano como o sujeito, porém são causados por fenômenos naturais como enchentes, terremotos, vulcões, radiação natural etc. (BRILHANTE e CALDAS, 1999).

Os riscos também podem ser classificados conforme os perigos a eles associados, em riscos químicos, microbiológicos, radiológicos etc. (VIEIRA e MORAIS, 2005b).

Os riscos ou perigos biológicos geralmente dizem respeito à presença, na água, de microrganismos patogênicos (bactérias, vírus e protozoários) e de toxinas presentes em algas que podem constituir ameaças à saúde. Muitos deles têm origem na fonte e podem ser reduzidos ou eliminados através de boas técnicas de desinfecção; para tanto, na fase de tratamento, é preciso usar um desinfetante eficaz, e garantir doses residuais no armazenamento e distribuição da água. Deve ser exigido que a concentração de microrganismos patogênicos seja mantida dentro dos limites legais estabelecidos, para garantir a qualidade da água. Via de regra, os microrganismos patogênicos têm origem em contaminação fecal, através do contato de águas residuárias que indevidamente penetram no sistema de abastecimento. Outras possibilidades de contaminação podem estar relacionadas à criação de animais domésticos, pássaros no interior e à volta de reservatórios entre outras. (VIEIRA e MORAIS, 2005b).

Os perigos químicos geralmente estão associados à presença de substâncias químicas em concentrações que sejam tóxicas ao homem e, portanto, nocivas à saúde. Essas substâncias podem estar naturalmente presentes no ambiente ou podem ser introduzidas durante as operações e os processos de tratamento ou nas fases de transporte e reservação da água. Existe um grande número de constituintes químicos (orgânicos ou inorgânicos) que podem influenciar significativamente a qualidade da água. Dependendo da sua toxicidade, podem causar graves perturbações à saúde em curto prazo (no caso de substâncias de toxicidade aguda muito elevada), potencializar doenças crônicas (no caso de substâncias de baixa toxicidade aguda consumidas diariamente durante longos períodos de tempo) ou, embora sem constituir perigo direto para a saúde, podem interferir nas características organolépticas da água. Em particular, é preciso especial atenção à ocorrência de subprodutos da desinfecção, resultantes da reação entre o desinfetante utilizado na eliminação de microrganismos e a matéria orgânica de origem natural, eventualmente presente na água bruta (VIEIRA e MORAIS, 2005b).

Os perigos físicos geralmente estão associados às características estéticas da água, tais como cor, turbidez, cheiro e sabor. São características de apreciação imediata, suscetíveis de levar os consumidores a questionarem a qualidade e a segurança da água, mesmo quando não significarem perigo direto para a saúde humana. Inversamente, água de boa aparência estética não necessariamente é adequada para consumo. Constituem exemplos de perigos físicos: a presença de sedimentos, de materiais de condutos ou de impermeabilização de tubulações e biofilmes. Estes últimos, também podem criar condições para o aparecimento de microrganismos patogênicos, fomentar zonas de biocorrosão e consumir cloro residual (VIEIRA e MORAIS, 2005b).

Os perigos radiológicos estão associados à probabilidade de contaminação da água a partir de fontes de radiação. A radiação pode ser emitida de forma natural ou como resultado de atividades humanas e pode ter origem em: materiais radioativos que ocorrem naturalmente nas fontes; contaminação por efluentes da indústria de mineração; radionuclídeos provenientes de atividades médicas ou de indústrias que utilizam materiais radiativos (VIEIRA e MORAIS, 2005b).

Independente das denominações, conceitos e das metodologias empregadas os riscos existem, objetivos e subjetivos, e eles devem ser gerenciados, pois o significativo crescimento das fontes de ameaça à vida em nosso planeta tem gerado insegurança e incerteza na população (NARDOCCI, 1999).

Dois tipos de riscos são importantes para o desenvolvimento deste estudo, os riscos microbiológicos e os riscos à saúde humana, detalhados a seguir.

4.13 RISCO MICROBIOLÓGICO

Segundo a OMS (WHO, 2004a) a grande maioria dos problemas de saúde que estão relacionados à água são devidos à contaminação por microrganismos. Geralmente, os maiores riscos microbiológicos são derivados do consumo de água contaminada com excrementos humanos ou animais. As excretas podem ser fontes de microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Os agentes patogênicos fecais são os que mais preocupam quando da fixação de metas sanitárias relativas à salubridade microbiológica. A qualidade microbiológica da água é muito instável e, com frequência, pode variar em curto espaço de tempo. Pode produzir aumentos repentinos de concentração de microrganismos que levam a considerável aumento do risco de enfermidades e podem desencadear surtos de

doenças transmitidas pela água. Os microrganismos, também, podem causar agravos à saúde de muitas pessoas antes que seja detectada a contaminação microbiológica da água.

Além dos surtos provocados pelos agentes patogênicos de origem fecal, outros perigos microbiológicos, por exemplo, o dracúnculo (*Dracunculus medinensis*), as cianobactérias potencialmente tóxicas e as legionellas também podem ter importância para a saúde pública em determinadas circunstâncias como mostra a Figura 4.9.

* Principalmente através do contato com águas superficiais altamente contaminadas.

Figura 4.9 - Vias de transmissão e exemplos de agentes patogênicos relacionados à água

Fonte: WHO (2004a).

As formas infecciosas de muitos helmintos, como os nematóides e platelmintos parasitários, podem ser transmitidas às pessoas por meio da água de consumo humano, a qual não deve conter larvas maduras nem ovos fertilizados, uma vez que um único exemplar pode ocasionar uma infecção. Não obstante, água é uma via relativamente pouco importante de infecção por helmintos, com exceção do dracúnculo que só existe no continente africano (WHO, 2004a).

As legionellas são bactérias ubíquas no meio e podem proliferar em temperaturas elevadas eventualmente presentes nas redes de distribuição de água, sobretudo nas instalações hidráulicas de água quente. A exposição às legionellas

presentes na água de consumo humano ocorre pela inalação e pode ser evitada mediante a aplicação de medidas básicas de gestão da qualidade da água nos edifícios e pela manutenção de residuais de desinfetantes em toda a rede de distribuição (WHO, 2004a).

Os perigos à saúde pública das cianobactérias derivam de sua capacidade de produzir diversas toxinas, conhecidas como “cianotoxinas”. Ao contrário das bactérias patogênicas, as cianobactérias não se multiplicam no organismo humano após a sua ingestão, pois somente proliferam no meio aquático. Contudo os peptídeos tóxicos (por exemplo, microcistinas) habitualmente encontrados no interior das células, podem ser eliminados na água e atravessar os sistemas de filtração (WHO, 2004a).

Ainda que a água seja uma fonte importante de microrganismos infecciosos, muitas das enfermidades que podem ser transmitidas pela água de consumo humano, podem ser transmitidas por outras vias, como o contato entre pessoas, as gotículas e aerossóis e a ingestão de alimentos. Segundo WHO (2004a) em determinadas circunstâncias, na ausência de surtos de origem aquática, estas vias podem ser mais importantes que a transmissão pela água.

Esta pesquisa está restrita ao estudo dos riscos microbiológicos provocados pela ingestão de água, que constituem os principais riscos à saúde humana.

4.13.1 Risco microbiológico e risco químico

Existe diferença fundamental entre as características das contaminações química e microbiológica da água para consumo humano e, portanto, diferenças também de riscos, fatos que levam à adoção de diferentes estratégias de seu gerenciamento.

O risco microbiológico é o risco ou a probabilidade de doenças associadas a contaminação da água devido a bactérias, vírus, protozoários e outros microrganismos. Os sintomas das doenças causadas por agentes microbiológicos podem ser agudos ou crônicos e também podem provocar seqüelas posteriores. Contudo, a avaliação e gestão de risco microbiológico têm por base doenças com origem nas exposições agudas devido ao consumo de água contaminada que podem levar à infecções (DEERE, et al., 2001).

Risco Químico é o risco de doença originada de poluição química da água para consumo humano, ou proveniente de substâncias químicas, tais como

subprodutos da desinfecção que são formados no sistema de abastecimento de água. Os efeitos à saúde atribuídos aos produtos químicos na água para consumo humano podem ser agudos (geralmente resultado de uma exposição de curto prazo a altas concentrações de substâncias químicas) ou crônicos (resultantes de exposições de longo prazo a níveis baixos de contaminantes químicos). Entretanto, devido ao seu enorme fator de diluição, poucas substâncias químicas alcançam concentrações na água que resultem em efeitos perceptíveis à saúde devido a curto período de exposição; em locais em que elas atingem altas concentrações, geralmente a água não é consumida devido ao seu sabor desagradável. Portanto, na avaliação e gestão de risco, os riscos químicos tendem a ser considerados como de longo prazo (DEERE, et al., 2001).

Os riscos microbiológicos, devido a exposições agudas, são os de maior interesse para a saúde pública e têm significativas implicações na avaliação e gestão de risco.

A contaminação microbiológica pode surgir em muitos pontos – desde o manancial até à rede de distribuição de água. A Figura 4.10 mostra um fluxograma do manancial até a torneira e as possíveis fontes de riscos microbiológicos presentes em muitos sistemas de abastecimento.

Um exemplo de situação de risco é a ocorrência de forte chuva após longa estiagem em manancial de um sistema de abastecimento de água que leve ao aumento da descarga de material fecal. A chuva somente representará risco à comunidade se também ocorrerem outros eventos associados:

- Haver níveis significativos de agentes patogênicos nas fezes na bacia do manancial;
- Haver chuva suficientemente severa para arrastar contaminantes para o manancial;
- Ser a água captada durante o período de viabilidade dos agentes etiológicos e antes da sedimentação e,
- Estar ausente ou inoperante a barreira de tratamento.

Tais eventos não podem ser considerados isoladamente, mas como parte de uma cadeia de eventos como mostra o diagrama da Figura 4.11 (STEVENS et al., 1995).

É importante considerar as magnitudes dos efeitos e a probabilidade de ocorrência ao invés da simples presença ou ausência de risco ou diferenças dos eventos. Por exemplo, as fezes animais contendo agentes patogênicos não devem ser consideradas apenas como presentes ou ausentes, mas devem ser quantificadas em uma faixa de níveis de contaminação distribuídas ao longo do tempo. Igualmente, chuvas podem ter uma faixa de severidade e as barreiras de tratamento uma faixa de capacidade ou grau de falha. O objetivo da avaliação e gestão de risco é identificar e avaliar os eventos que contribuem para os riscos e focar nos fatores de mitigação, ou seja, nas barreiras sanitárias.

É preciso reduzir os riscos a um nível aceitável ou minimizá-los através da otimização das barreiras disponíveis. O uso de barreiras múltiplas é feito em dois níveis. No primeiro, na maioria dos casos, as barreiras atuam para reduzir ao invés de eliminar completamente os riscos. Uma vez que os eventos estão ligados, o uso de múltiplas barreiras fornece múltiplos níveis de proteção, os quais atuam juntamente para reduzir o risco total e, por consequência, a redução dos referidos riscos é maior que aquela alcançada por uma única barreira. Segundo, se uma barreira tiver sua efetividade diminuída, a presença de outras barreiras auxilia a manter reduzido nível de risco por todo o sistema (DEERE et al., 2001).

É importante considerar o pequeno tempo da exposição para os riscos microbiológicos. Uma falha em curto espaço de tempo de uma barreira que concentra maior fator na redução do risco pode levar a níveis inaceitáveis de exposição ao risco. Portanto, onde existir múltiplas barreiras, cada uma das quais é capaz de prover maior redução de risco; falhas de uma única barreira terão pouco impacto sobre o risco final. Teunis et al. (1997) consideraram que a exposição de uma população ao risco microbiológico dependia de uma única barreira de alta eficiência de proteção (unidade de filtração). Esses autores concluíram que quase todo o risco para os consumidores, durante o período de um ano, resultava da somatória de vários pequenos períodos, talvez menos que um dia no total de um ano, em que a barreira operava deficientemente.

Figura 4.10 - Diagrama de fluxo genérico para fontes de riscos microbiológicos relacionados à água para consumo humano. Fonte: adaptado de Haas e Eisenberg (2001).

Figura 4.11 - Arvore de Falhas, genérica, para poluição de manancial de água para consumo humano devido a chuvas.
 Fonte: adaptado de Stevens et al. (1995).

Outra implicação da necessidade de múltiplas barreiras é o fato de elas necessitarem ser efetivas sempre que solicitadas. Por exemplo, ainda que a estação de tratamento de água e os tanques sépticos operem a maior parte do tempo de forma adequada, isto se tornará insuficiente se a exposição aos riscos ocorrer durante chuvas ocasionais; houver transbordamento dos tanques e forem maiores e mais freqüentes as falhas na estação de tratamento devido à sobrecarga provocada pelas chuvas. Portanto, pelo fato de a exposição aguda ter importância maior para os riscos microbiológicos, é necessário que as barreiras sejam efetivas durante as exposições de curta duração, quando ocorrerem eventos extremos.

4.14 RISCOS À SAÚDE

As pessoas – ao longo de suas vidas e em todos os lugares – estão expostas a uma série ilimitada de riscos à saúde, na forma de enfermidades transmissíveis, não transmissíveis, traumatismos, produtos de consumo, atos violentos ou catástrofes naturais. Algumas vezes populações inteiras estão em perigo, outras somente uma pessoa; porém, a maioria dos riscos se concentra entre as populações mais pobres (WHO, 2002c).

Nenhum risco existe de forma isolada. Muitos têm sua origem em complexas cadeias de acontecimentos que envolvem longos períodos de tempo. Cada um deles tem pelo menos uma causa, e algumas causas múltiplas. Grande parte dos recursos científicos e sanitários é dirigida para o tratamento das enfermidades, pois ainda predomina o princípio da “assistência à pessoa em perigo”. Avaliar o resultado das enfermidades e traumatismos como, por exemplo, a mortalidade e a hospitalização, pode levar à conclusão equivocada da necessidade de concentrar recursos nos serviços paliativos ou curativos, em detrimento à prevenção das doenças. Por outro lado, o uso das avaliações da carga de doenças e sua medida principal os “anos ajustados de vida perdidos” (DALY)⁽⁷⁾ permitem integrar e comparar os efeitos sobre a saúde, resultante de fatores de risco e, desta forma estimar o potencial de prevenção de cada intervenção (WHO, 1997b).

⁽⁷⁾ O conceito de Anos ajustados de vida perdidos (DALY) será apresentado em detalhes no item 4.16.1.

Uma exceção importante são as doenças transmissíveis, pois o tratamento dos indivíduos infectados pode prevenir a propagação posterior da infecção, uma vez que o tratamento em si é um método de prevenção (CAIRNCROSS et al., 2003).

Para prevenir enfermidades ou traumatismos é importante dispensar atenção especial aos riscos à saúde. Na área da saúde, a visão de pessoas enfermas nos causa profunda comoção, contudo para prevenir as enfermidades e os traumatismos é necessário proceder a avaliação e a redução sistemática de suas causas (WHO, 2002c).

A percepção que uma pessoa tem de risco e sua reação a ele depende da experiência prévia e da informação e valores recebidos através da família, sociedade e governo. Trata-se de um processo de aprendizagem que começa na infância, quando a criança aprende que não deve brincar com fogo e se atualiza constantemente durante a idade adulta (WHO, 2002c).

Alguns riscos, como os surtos de doenças, escapam ao controle individual, porém outros, como o hábito de fumar ou o consumo de outras substâncias nocivas, dependem de cada indivíduo, que pode aumentá-los ou reduzi-los à vontade. O desafio e a responsabilidade de reduzir os riscos na medida do possível, assegurar vida longa e saudável cabe às pessoas, às comunidades e a seus governos.

Geralmente, as pessoas transferem ao governo a obrigação de reduzir os riscos aos quais as populações estão expostas. Entretanto, é importante que os indivíduos tenham conhecimento de como controlar sua exposição aos riscos. Por exemplo, usar o cinto de segurança no automóvel é um ato individual que tem por objetivo reduzir o risco de lesões; aprovar uma lei que o torne obrigatório é uma medida tomada pelo governo em benefício de toda a população (WHO, 2002c)

Aliás, o governo têm papel fundamental no controle dos riscos pois ele é responsável pelo controle da qualidade dos alimentos e dos medicamentos consumidos pela população e por manter a constante vigilância da qualidade da água para consumo humano. Estas medidas, denominadas “intervenções”, são definidas como toda ação sanitária ou atividade de promoção preventiva, curativa ou de reabilitação cujo objetivo principal é melhorar a saúde (CAIRNCROSS et al., 2003).

Ainda que seja impossível eliminar os riscos por completo, é possível reduzi-los a um nível aceitável e explicar ao público, mediante franca e clara comunicação, o por que e como isto tem sido feito. Cabe aos governos conquistar a confiança do público, pois este não tarda em questionar como são geridos os riscos e quais os

benefícios alcançados. Esta situação ocorre freqüentemente, quer se trate de nova epidemia de rápida transmissão ou de uma exposição em longo prazo (WHO, 2002c).

Para proteger a população e ajudá-la a proteger-se é necessário que a magnitude dos riscos seja avaliada com exatidão. Até o momento, esta tarefa tem sido negligenciada pelos governos e, principalmente, pelas autoridades sanitárias. Sem critério quantitativo para avaliar a magnitude e o impacto dos riscos nas populações, as definições e as priorizações das políticas públicas ficam a mercê dos grupos de pressão ou de eventos particulares que causam grande comoção às pessoas.

Para a avaliação de risco é necessário o uso de instrumentos e estratégias adequados para a elaboração de políticas de redução de riscos, que prescrevam a mais eficaz forma de intervenção. A avaliação de risco na saúde deve ser entendida como um método sistemático para estimar a carga de morbidade e de traumatismos devido a riscos distintos, através da determinação, quantificação e caracterização das ameaças para a saúde humana (WHO, 2004a). A avaliação de risco pode mostrar um valioso panorama dos papéis desempenhados por distintos riscos à saúde; indicar, à população exposta, o benefício que a escolha de certas intervenções causará sobre determinados riscos; e contribuir para a elaboração de políticas públicas. A atividade mais ampla da análise de risco, além da científica, é uma atividade política, pois engloba a percepção pública do risco, ao incorporar aspectos relacionados aos valores, processos, poder e confiança.

Muitos riscos à saúde já foram reduzidos e alguns, como a varíola, erradicados. O mérito destas intervenções deve ser atribuído aos avanços realizados no campo da saúde pública e da medicina preventiva durante os dois últimos séculos. Bons exemplos destas intervenções são as melhorias da qualidade da água para consumo humano e do saneamento em geral, o desenvolvimento dos sistemas de saúde, a introdução de antibióticos, a imunização maciça contra os agentes infecciosos e, recentemente, a melhoria na nutrição. Essas intervenções proporcionaram 30 a 40 anos a mais de vida para a população de alguns países (WHO, 2002c).

Entretanto, certos agentes patogênicos como vírus, bactérias e parasitas continuam a contribuir para a precária saúde mundial. Apesar dos novos conhecimentos acerca das doenças e da forma de combatê-las terem desempenhado importante papel na melhoria da qualidade de vida – a ponto de uma porção

considerável da população mundial estar sujeita a risco relativamente reduzido de padecer da maioria das doenças infecciosas – as doenças diarreicas, a Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (AIDS), a malária e a tuberculose ainda constituem risco para a maioria da população mais pobre que vive países em desenvolvimento (CAIRNCROSS et al., 2003).

Para prevenir doenças e traumatismos, é necessário dedicar atenção preferencial aos riscos à saúde. Para fixar as prioridades e estratégias de redução de riscos à saúde é preciso dedicar atenção preferencial aos riscos à saúde e considerar os vários fatores intervenientes. É importante avaliar a magnitude das ameaças dos distintos fatores de risco, a disponibilidade de intervenções custo-eficazes e os valores e as preferências da população. Um elemento básico na determinação de prioridades é dispor de informações confiáveis e comparáveis, de interesse local sobre a magnitude dos diferentes riscos à saúde. Via de regra, estas informações são limitadas e têm permitido que grupos de interesse tentem reduzir a importância de algum risco que não considerem conveniente para seus interesses e, em contraponto, exacerbar aqueles que mais lhe convierem. As informações veiculadas pela mídia sobre riscos são pouco confiáveis, não se fala das grandes ameaças comuns à saúde, pois já são conhecidas, porém as ameaças raras ou pouco frequentes têm grande interesse público (WHO, 2002c).

Portanto as ações em saúde exigem uma visão abrangente, de longo prazo e a tomada de decisões deve ser baseada em critérios claros e em informações obtidas de fontes confiáveis que permitam comparar a magnitude dos distintos riscos sanitários.

4.15 RISCOS AMBIENTAIS À SAÚDE HUMANA

O ambiente é uma das maiores preocupações mundiais dos cidadãos e constitui um dos principais temas de política governamental. A cada vez é maior o número de pessoas que vêm na degradação ambiental uma ameaça à saúde e ao bem-estar social. Atualmente, um grande número de especialistas dos mais variados campos da ciência se ocupa da proteção da saúde humana. O enfoque tradicional da saúde pública e principalmente do saneamento já não é suficiente para a compreensão da interdependência entre saúde e fatores ambientais, de onde a necessidade de lançar mão dos modernos conceitos usados pela saúde ambiental – entre eles os estudos de impacto ambientais e saúde e a avaliação e gestão de risco (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Todos os problemas relativos aos contaminantes ambientais estão associados ao aumento da população, ao crescente processo de industrialização, ao incremento da pesquisa, do desenvolvimento e da difusão de novas tecnologias que têm contribuído para pôr em perigo ou causar danos à saúde do homem e aos ecossistemas (UNITED NATIONS, 2006).

Os contaminantes ambientais são denominados riscos ambientais e estão classificados em dois grupos: os relacionados aos riscos tecnológicos, decorrentes das atividades desenvolvidas pelo homem e os relativos a riscos naturais, oriundos de distúrbios da natureza.

Os primeiros podem ser controlados tanto na probabilidade de ocorrência quanto nas conseqüências, ao passo que os segundos, de modo geral, não podem ser controlados via probabilidade de ocorrência, mas por suas conseqüências (BRILHANTE e CALDAS, 1999).

Estes riscos, especialmente os tecnológicos, têm provocado grandes transformações em nosso planeta, causando alterações locais como a contaminação devido a produtos químicos; a radiação e as chuvas ácidas em escalas regionais ou continentais; e, a destruição da camada de ozônio e efeito estufa em escala global.

As ameaças ambientais para a saúde humana são numerosas e também podem ser divididas em “perigos tradicionais” associados à falta de desenvolvimento, e “perigos modernos” relacionados ao desenvolvimento insustentável.

Os perigos tradicionais – intimamente relacionados à pobreza e ao “desenvolvimento insuficiente” – são associados: ao não acesso à água de consumo humano segura; inadequado esgotamento sanitário; poluição interna devido ao uso de combustível de biomassa para a cocção e calefação e à inadequada disposição dos resíduos sólidos (KJELLSTRÖM e CORVALÁN, 1995).

Os perigos modernos estão ligados ao desenvolvimento econômico que não assegura salvaguardas à saúde e ao ambiente, além de impor um consumo insustentável de recursos naturais. Eles incluem: poluição das águas nas áreas populosas; industrialização progressiva, agricultura intensiva; poluição do ar devido a automóveis; estações termoeletricas a carvão e industriais; mudanças climáticas; depleção do ozônio estratosférico e poluição transnacional.

Os padrões de saúde ambiental associados aos riscos à saúde sofrem alterações no tempo, fenômeno esse conhecido como “transição de riscos”, no qual

os riscos tradicionais paulatinamente são substituídos pelos riscos modernos, em função do desenvolvimento da comunidade ou país.

Atualmente a maioria dos países em desenvolvimento convive com este problema, por não terem conseguido reduzir os riscos tradicionais e por já enfrentarem riscos decorrentes do desenvolvimento insustentável - riscos modernos (WHO, 1997b).

Embora seja possível identificar e descrever os perigos à saúde humana e ao ambiente, esta relação é complexa, pois a cada perigo tradicional ou moderno estão associados vários aspectos do desenvolvimento econômico e social e são necessárias análises abrangentes em relação a sua incidência e impacto (KJELLSTRÖM e CORVALÁN, 1995).

O processo saúde-doença, que envolve as patologias de transmissão ou origem ambiental, apresenta uma complexidade tal que ultrapassa a visão reducionista limitada ao agente etiológico e ao suscetível. Por exemplo, os estudos epidemiológicos, que buscam entender o processo saúde-doença de veiculação ou de origem hídrica, enfrentam inúmeros fatores intervenientes: hábitos higiênicos, inadequado acondicionamento de água, não conformidade com o padrão de potabilidade, entre outros.

Para entender a complexidade das relações saúde e ambiente, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) desenvolveu o modelo *Pressure-State-Response* (PSR), em português Pressão-Estado-Resposta para descrever o estado do ambiente. Pelo fato de o PSR revelar algumas limitações, a OMS a ele incorporou dois novos elementos: as forças motrizes (*driving forces*), responsáveis pela pressão no ambiente, e os efeitos (*effects*) que precedem a resposta política. Com a inclusão desses novos elementos foi possível analisar as diferentes interações e, assim, auxiliar a escolha da mais eficaz forma de intervenção por parte dos órgãos de saúde pública (WHO, 1997b; CORVALÁN et al., 1999). Neste novo modelo conceitual, conhecido como Forças Motrizes, Pressão, Estado, Exposição, Efeitos e Ação (FPEEEA), os determinantes das doenças foram hierarquizados em níveis desde os mais gerais até os mais específicos, constituindo uma escala composta pelos seguintes elementos:

- Força motriz: representa as características mais gerais relacionadas ao modelo de desenvolvimento adotado pela sociedade que influenciam os processos ambientais, podendo afetar a saúde – exemplo: desenvolvimento econômico;

- Pressão: corresponde às características das principais fontes de pressão sobre o ambiente e as populações e, conseqüentemente, sobre a saúde – exemplo: resíduos sólidos;
- Estado: descreve os níveis ambientais gerais que se encontram em freqüente modificação, dependendo das pressões que recebem; em outras palavras, refere-se aos fatores de risco –exemplo: nível de poluição;
- Exposição: envolve a relação direta entre o ambiente imediato e a população ou grupos expostos; é condição indispensável para que a saúde, individual ou coletiva, seja afetada – exemplo: consumo de água contaminada pela população;
- Efeitos: manifestações, na população, resultantes de uma exposição; pode variar em função do tipo, magnitude e intensidade – exemplo: morbi-mortalidade, intoxicação.

A Figura 4.12 é uma abstração simplificada da complexa relação causa-efeito entre forças motoras, pressões ambientais, estados ambientais, exposições humanas, aspectos de saúde e ações apontadas para minimizar seus efeitos. Os vários compartimentos fornecem exemplos de fatores que atuam em cada nível. Setas marcam as potenciais conexões existentes entre várias causas e efeitos em saúde ambiental (WHO, 1997b).

A cadeia Desenvolvimento-Meio Ambiente-Saúde e as “ações de resposta” formam o modelo no qual as forças motrizes geram **pressões** que modificam o **estado** do ambiente e, em última análise, afetam a saúde humana por meio das diversas formas de **exposição** de contato das pessoas com o meio e os **efeitos** sobre a saúde. Várias ações podem ser desenvolvidas em diferentes pontos da cadeia, sob diversas formas; por exemplo, as **forças motrizes** do desenvolvimento, representadas pela urbanização e a industrialização, geram **pressões** sobre o meio ambiente que deterioram seu **estado** e **expõe** populações a riscos, com possíveis **efeitos** negativos para a saúde humana, e aumento das taxas de morbi-mortalidade. Para cada etapa da estrutura podem ser encontradas diferentes ações a serem tomadas, se a estrutura múltipla de causas for identificada, ela pode constituir um poderoso guia para projetar intervenções oportunas e custo-eficazes, além de fornecer um meio para examinar possíveis efeitos sinérgicos entre intervenções (KJELLSTRÖM e CORVALÁN, 1995).

Figura 4.12 - Estrutura causa- efeito em saúde ambiental.
Fonte: adaptado de WHO (1997b).

A Figura 4.13, no processo saúde-doença, ilustra o caso particular das doenças de transmissão ou de origem hídrica, que permite avaliar as interações envolvidas no referido processo, as quais devem ser bem compreendidas por aqueles que militam no saneamento, para que no desenvolvimento das ações elas venham a ser as mais eficazes possíveis (BRASIL, 2005a).

A partir desta cadeia de interações é possível elaborar matrizes com indicadores e propostas de ação para cada nível de complexidade. O Quadro 4.8 apresenta um exemplo de aplicação desta metodologia, em que são definidos indicadores de saúde ambiental e determinadas as intervenções a serem adotadas.

Quais doenças estão relacionadas aos riscos ambientais? O item a seguir descreve quais são essas doenças e que influência têm os riscos ambientais sobre elas.

Figura 4.13 - Cadeia de interação envolvida no processo saúde-doença das patologias de transmissão ou origem hídrica.

Fonte: Brasil (2005a).

Quadro 4.8 - Operacionalização da “Estrutura de Causa e Efeito para as Ações de Saúde e Ambiente” na vigilância da qualidade da água para consumo humano.

Componentes	Indicadores	Ação
Forças motrizes	<ul style="list-style-type: none"> – % de recursos públicos destinados às áreas sociais (saúde, saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) 	<ul style="list-style-type: none"> – Implantação de um modelo de desenvolvimento humano e solidário
<ul style="list-style-type: none"> – Pressão 	<ul style="list-style-type: none"> – % da população com instalações intradomiciliares inadequadas; – % da água tratada distribuída pelos sistemas de abastecimento de água; – Nível de escolaridade e renda da população. 	<ul style="list-style-type: none"> – Implantação de uma política nacional de saneamento, com vistas à universalização dos serviços de saneamento; – Investimentos na área de educação e desenvolvimento de programas de distribuição de renda.
Estado	<ul style="list-style-type: none"> – % da população atendida pelo serviço de saneamento; – % da população com instalações intradomiciliares inadequadas; – % da população que desenvolvem ações de higiene intradomiciliares. 	<ul style="list-style-type: none"> – Investimentos públicos para ampliação e melhoria da qualidade dos serviços de saneamento; – Investimentos públicos para a melhoria das instalações sanitárias intradomiciliares; – Desenvolvimento de ações de educação e mobilização social.
Exposição	<ul style="list-style-type: none"> – % da população consumindo água fora dos padrões de potabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> – Vigilância e fiscalização exercida pelo setor saúde visando à garantia da qualidade da água para consumo humano.
Efeito	<ul style="list-style-type: none"> – Taxa de incidência de doença de transmissão hídrica. 	<ul style="list-style-type: none"> – Vigilância epidemiológica dos casos de doença de transmissão hídrica. – Atenção à saúde da população.

Fonte: Brasil (2005a).

4.16 DOENÇAS ATRIBUÍDAS AOS RISCOS AMBIENTAIS

Atualmente, o conceito de carga de doenças é cada vez mais utilizado nos estudos que relacionam riscos ambientais à doenças e, como unidade de medida da carga de doença é usado: “anos ajustados de vida perdidos” - DALY. Pelo fato da carga de doenças ser de uso recente e, por isso, pouco conhecido pelos profissionais da área de saneamento, esse conceito será descrito a seguir.

4.16.1 Carga de doenças da população

Na era atual, como a maioria das sociedades precisa lutar contra o aumento da demanda por serviços de saúde, é inevitável que os administradores públicos tenham que escolher a forma de melhor geri-los, até mesmo quando optarem por manter as práticas em uso. A esperança de vida da população tem aumentado significativamente, o que acarreta a necessidade de adequar o foco das políticas de saúde pública. O planejamento estratégico na saúde pode ajudar a definir metas e a reduzir custos dos serviços necessários para atingir as metas estabelecidas. Por isso, esse planejamento precisa identificar as necessidades do sistema de saúde, ou seja, é preciso conhecer: a carga de doenças e danos que afetam a população, os fatores de risco que as causam e a maneira pela qual essa carga pode ser alterada com a adoção de políticas e intervenções custo-eficazes. Portanto, o planejamento não deve ser usado apenas para determinar a demanda de serviços porque ele é, também, importante instrumento no processo de tomada de decisão (PRÜSS et al., 2002).

Tradicionalmente, as políticas de saúde pública têm se concentrado na mortalidade e na severidade da doença expressa pelo coeficiente de mortalidade. Embora muitas doenças não levem à morte, elas podem causar significativa morbidade. As doenças neuropsiquiátricas, a perda de audição e danos em geral são exemplos de enfermidades que podem causar importantes perdas de saúde, mas que provocam poucas ou morte alguma. Por isso foi necessário agrupar as informações sobre a esperança de vida e estado de saúde em uma medida simples e holística da saúde da população para que elas possam servir como instrumento para a formulação de políticas de saúde (CAIRNCROSS et al., 2003)

Em 1996 o Banco Mundial publicou o *Global Burden of Disease and Injury serie*” – - primeiro conjunto de informações epidemiológicas sobre a carga de doenças no mundo. Nesse estudo foram descritas as cargas de 107 doenças e danos, as quais foram agrupadas em 10 fatores de risco ou grupos de riscos, segundo os

vários grupos de idade e regiões geográficas. Então foi possível descrever a carga de doenças no mundo e as tendências de saúde das populações através de um único indicador denominado DALY. Na sua construção foi adotado o Princípio da Igualdade, motivo pelo qual foram aplicados os mesmos critérios para todas as regiões do mundo: foi usada a mesma esperança de vida “ideal” para todos os grupos populacionais e foram excluídas as características não relacionadas à saúde, tais como etnia, condição socioeconômica ou ocupação – exceções feitas para idade e sexo (PRÜSS e HAVELAAR, 2001).

O conceito de DALY foi resultado do esforço para encontrar uma medida que avaliasse as prioridades entre diferentes doenças e problemas de saúde. Para sua elaboração foi necessário usar de juízos de valor, sem os quais seria impossível comparar a importância de uma doença, por exemplo, que acomete crianças com idades inferiores a 2 anos, com outra que causa uma deficiência física permanente em um adulto. Um DALY pode ser entendido como um ano de vida saudável perdido e a carga de doença como uma medida do intervalo entre o estado de saúde atual e uma situação ideal, na qual todos vivem até idades avançadas livres de doenças e incapacidades. O DALY combina, em uma mesma medida, o tempo vivido com incapacidade e o tempo perdido devido à mortalidade prematura (GRAY, 2008). Os DALYs para uma doença são calculados pelo somatório dos anos de vida perdidos devido à mortalidade prematura (YLL) na população e os anos perdidos devido à incapacidades (YLD) por casos incidentes na condição da saúde:

$$DALY = YLL + YLD$$

equação 4.3

Os anos de vida perdidos (YLL) basicamente correspondem ao número de mortes multiplicado pela esperança de vida na idade em que a morte ocorreu. Para estimar os YLL, com base na população, foi preciso combinar a taxa de mortalidade específica por idade com a expectativa de vida em casos nos quais a doença não tenha se desenvolvido. A mortalidade afeta a população de forma aleatória e, então, a expectativa de vida pode ser derivada de tabelas padronizadas. Foi proposta uma tabela baseada na mais alta expectativa de vida observada em mulheres japonesas; foi levado em conta, também, diferenças na expectativa de vida entre mulheres e homens. Para comparação, a expectativa de vida na Holanda em 1994 foi de 74,6 anos para homens e 80,3 para mulheres, enquanto no Zimbábue, para ambos os

sexos, era 39 anos em 1998. Para estimar a perda de anos de vida adicional para cada doença foi necessário obter informações específicas sobre as doenças (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006). O total de anos de vida perdidos foi então calculado segundo a equação 4.4.

$$YLL = \sum_i e^*.(a_i) . \sum_j d_{i,j} \quad \text{equação 4.4}$$

Em que i é um índice das diferentes classes de idade; $d_{i,j}$ é o número de casos fatais por classe de idade, j é um índice para diferentes categorias de doenças; $e^*.(a_i)$ é a média da esperança de vida na classe de idade (PRÜSS et al., 2001).

Para estimar o YLD para uma causa específica, o número de casos incidentes no período analisado foi multiplicado pela duração média da doença e por um fator de ponderação que refletiu a severidade da doença em uma escala de 0 (saúde perfeita) até 1 (morte). A fórmula básica para o YLD é apresentada na equação 4.5:

$$YLD = \sum_j N_j . L_j . W_j \quad \text{equação 4.5}$$

Em que j é um índice para diferentes categorias de doenças, N é o número de pacientes, L é a duração de doenças e W é a ponderação da severidade conforme mostra o Quadro 4.9.

Quadro 4.9 - Classes de incapacidades e indicadores de doenças

Classes	Pesos	Exemplos
1	0.00–0.02	Vitiligo na face
2	0.02–0.12	Diarréia aquosa
3	0.12–0.24	Infertilidade, artrite, angina
4	0.24–0.36	Amputação, surdez
5	0.36–0.50	Síndrome de Down
6	0.50–0.70	Depressão, cegueira
7	0.70–1.00	Psicoses, demência, quadriplegia

Fonte: adaptado de Prüss e Havelaar (2001).

A aplicação deste estudo para as causas principais de mortalidade e a carga de doença segundo dados de 1990 está apresentada no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 - Causas principais de morte e carga de doenças para 1990.

Classificação	Causa	% do total	Mortes ou <i>DALY</i> (por 1000 hab)
MORTES			
1	Doenças isquêmicas do coração	12,4	6.260
2	Doenças cardiovasculares	8,7	4.381
3	Infecções respiratórias inferiores	8,5	4.299
4	Doenças diarreicas	5,8	2.946
5	Condições Perinatal	4,4	2.443
6	Doenças pulmonares crônicas obstrutivas	3,9	2.211
7	Tuberculose	2,1	1.960
8	Sarampo	2,1	1.058
9	Acidentes de tráfego rodoviário	1,9	999
10	Câncer de traquéia, brônquios e pulmão	1,9	945
Anos ajustados de vida perdidos (<i>DALY</i>)			
1	Infecções respiratórias inferiores	8,2	112.898
2	Doenças diarreicas	7,2	99.633
3	Condições Perinatal	6,7	92.313
4	Depressão maior unipolar	3,7	50.810
5	Doenças isquêmicas do coração	3,4	46.699
6	Doenças Cerebrovasculares	2,8	38.523
7	Tuberculose	2,8	38.426
8	Sarampo	2,7	36.520
9	Acidentes de trânsito	2,5	34.317
10	Anomalias congênitas	2,4	32.921

Fonte: adaptado de Murray e Lopes (1996).

Esse quadro mostra a importância de serem considerados os efeitos não fatais, como pode ser visto com a mudança na posição da classificação para várias doenças

como a depressão maior unipolar como incapacidade que, embora não leve à morte, apresenta uma importante carga de doença. Outra causa de grande interesse são as diarreias que embora tenham importante carga incapacitante têm pequena expressão se for considerada simplesmente a taxa de mortalidade (PRÜSS et al., 2002). Uma nova estimativa de mortalidade e carga de doenças, realizada em 1999, apresentada no Quadro 4.11, mostra que o HIV/AIDS está na quarta posição para mortes e DALYs e destaca a malária como importante causa para DALYs (WHO, 1999).

Quadro 4.11 - Causas principais de morte e estimativa da carga de doenças para 1998.

Classificação	Causa	% do total	Mortes ou <i>DALY</i> (por 1.000 hab)
MORTES			
1	Doenças isquêmicas do coração	13,7	7.375
2	Doenças cerebrovasculares	9,5	5.106
3	Infecções respiratórias inferiores	6,4	3.452
4	HIV/AIDS	4,2	42.285
5	Doenças pulmonares crônicas obstrutivas	4,4	2.443
6	Doenças diarreicas	4,1	2.219
7	Condições Perinatal	4,0	2.155
8	Tuberculose	2,8	1.498
9	Câncer de traquéia, brônquios e pulmões	2,3	1.244
10	Acidentes de trânsito	2,2	1.171
Anos ajustados de vida perdidos (<i>DALYs</i>)			
1	Infecções respiratórias inferiores	6,0	82.344
2	Condições Perinatal	5,8	80.564
3	Doenças diarreicas	5,3	73.100
4	HIV/AIDS	5,1	70.930
5	Depressão maior unipolar	4,2	58.246
6	Doenças isquêmicas do coração	3,8	51.948
7	Doenças Cerebrovasculares	3,0	41.626
8	Malária	2,8	39.267
9	Acidentes de trânsito	2,8	38.849
10	Sarampo	2,2	30.255

Fonte: adaptado de WHO (1999).

O Quadro 4.12 compara os dados de DALYs mostrados no Quadro 4.10 entre regiões desenvolvidas e em desenvolvimento.

Quadro 4.12 - Causas de *DALYs* para regiões desenvolvidas e em desenvolvimento segundo dados de 1990.

Clas- sifica- ção	Regiões Desenvolvidas		Regiões em Desenvolvimento	
	Causa	%	Causa	%
1	Doenças isquêmicas do coração	9,9	Infecções respiratórias inferiores	9,1
2	Depressão maior unipolar	6,1	Doenças diarreicas	8,1
3	Doenças Cerebrovasculares	5,9	Condição Perinatal	7,3
4	Acidentes de trânsito	4,4	Depressão maior unipolar	3,4
5	Uso de álcool	4,0	Tuberculose	3,1
6	Osteoartrites	2,9	Sarampo	3,0
7	Câncer de traquéia, brônquios e pulmão	2,9	Malária	2,6
8	Demência e outros	2,4	Doenças isquêmicas do coração	2,5
9	Danos auto-infligidos	2,3	Anomalias congênitas	2,4
10	Anomalias congênitas	2,2	Doenças cerebrovasculares	2,4

Fonte: Adaptado de Prüss e Havelaar (2001).

4.16.2 Fatores de risco

Fatores associados ao aumento do risco de determinada doença ser contraída são denominados fatores de risco.

Dois pontos devem ser enfatizados em relação aos fatores de risco: primeiro que o mesmo fator pode ser de risco para várias doenças – por exemplo, o tabagismo, é fator de risco de diversos cânceres, de doenças cardiovasculares e respiratórias; segundo, que vários fatores de risco podem estar envolvidos na gênese de uma mesma doença, constituindo agentes causais múltiplos.

O estudo de fatores de risco, isolados ou combinados, tem permitido estabelecer relações de causa-efeito entre eles e determinadas doenças. Entretanto, nem sempre a relação entre a exposição a um fator de risco e o desenvolvimento de uma doença é facilmente reconhecível, especialmente quando se presume que a relação aconteça através de comportamentos sociais comuns – tipo de alimentação, por exemplo (WHO, 2002c).

Para algumas doenças, principalmente doenças crônicas, é importante considerar o período de latência, isto é, o período de tempo compreendido entre a exposição ao fator de risco e o surgimento da doença, pois as primeiras manifestações a uma curta exposição aos fatores de risco podem surgir após muitos anos – radiações ionizantes – ou, então, após exposição contínua – radiação solar e tabagismo, por exemplo.

Na avaliação quantitativa da carga de doença é necessário conhecer a carga atribuível e a carga prevenível para cada fator de risco. Fração atribuível é a diferença entre a carga resultante da exposição a um fator de risco e a carga observada após a remoção ou redução do risco a um nível aceitável. Quando membros de uma comunidade estão expostos a um fator de risco – por exemplo, praguicidas agrícolas – que causem agravos à saúde ou morte e esse fator de risco for removido do ambiente, é esperado que o número geral de problemas de saúde ou mortes na comunidade deva declinar. A redução proporcional no número de problemas de saúde ou morte como resultado da redução do fator de risco é conhecido como “fração atribuível”. Em outras palavras, é a proporção de todos os problemas de saúde ou mortes na comunidade que podem ser atribuídas a determinado fator de risco (MIETTINEN, 1974; GREENLAND, 1984).

Carga prevenível é a carga que pode ser evitada se os níveis atuais de exposição forem eliminados ou reduzidos a um mínimo. A carga de doenças associada a um fator de risco e sua porção prevenível são os principais elementos a serem considerados na tomada de decisões para a definição de prioridades e alocação de recursos na saúde ou no ambiente (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Os fatores de risco podem: ser encontrados no ambiente físico, ser herdados ou representar hábitos ou costumes próprios de determinado ambiente social e cultural.

Geralmente a carga de doença é o resultado de fatores de risco ambiental, social e comportamental. A soma desses fatores de risco separados (frações

atribuíveis) pode superar 100% - significando que a carga de doença pode ser potencialmente reduzida ou eliminada por diferentes formas de intervenção. Para decidir qual a melhor opção, é necessário considerar, para cada fator, quais as alternativas de intervenção custo-eficazes (PRÜSS-ÜSTUN e CORVALÁN, 2006).

No Quadro 4.13 são mostrados alguns dos fatores de risco e a carga de doenças a eles relacionada e, a seguir, são apresentadas algumas considerações sobre os fatores de risco ambientais cujos elementos serão importantes para o desenvolvimento deste estudo.

Quadro 4.13 - Carga Global de Doenças e danos atribuíveis a fatores de riscos selecionados para o ano de 1990.

Fator de risco	Mortes (1000s)	% Total Mortes	DALY (1000s)	% Total DALYs
Desnutrição	5.881	11,7	219.575	15,9
Abastecimento de água, esgotamento sanitário e higiene pessoal e doméstica	2.668	5,3	93.392	6,8
Sexo pouco seguro	1.095	2,2	48.702	3,5
Tabaco	3.038	6,0	36.182	2,6
Álcool	774	1,5	47.687	3,5
Ocupacional	1.129	2,2	37.887	2,7
Hipertensão	2.918	5,8	19.097	1,4
Inatividade Física	1991	3,9	13.653	1,0
Drogas Ilícitas	100	0,2	8.467	0,6
Poluição do Ar	568	1,1	7.254	0,5

Fonte: adaptado de Murray e Lopes (1996).

4.16.3 Fatores ambientais de risco

A estimativa da carga de doenças devido a riscos ambientais podem auxiliar na escolha das mais custo-eficazes intervenções no meio para promover a saúde da população.

As primeiras estimativas globais aceitas de carga de doenças atribuídas ao ambiente foram baseadas na opinião de especialista e indicavam: 23% (WHO, 1997b) e 25-33% (SMITH et al., 1999). Um terceiro estudo desenvolvido no âmbito dos países pertencentes a OECD encontrou resultados diferentes e concluiu que apenas 2,1 a 5% da carga total de doenças podiam ser atribuídas ao ambiente (MELSE e DE HOLLANDER, 2001). Segundo Prüss-Üstün e Corvalán (2006) esta menor estimativa pode ser explicada pela metodologia e objetivos usados na pesquisa, nos quais os fatores de risco ocupacionais não foram considerados e, também, devido aos diferentes impactos que os riscos ambientais têm na saúde das populações que vivem em países desenvolvidos – foco da pesquisa da OECD e em países em desenvolvimento.

Em 2002 a OMS desenvolveu rigoroso estudo para obter uma estimativa mais precisa da carga de doença em todo o mundo (WHO, 2002c). Esse projeto conhecido como Avaliação Comparativa de Risco (do inglês *Comparative Risk Assessment* - CRA) identificou 26 fatores entre os diversos tipos de riscos: ambientais, ocupacionais, sociais e comportamentais que tinham um maior impacto sobre a saúde da população; seis deles eram fatores ambientais e ocupacionais, os quais são apresentados no Quadro 4.14 (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Os seis fatores considerados no CRA eram fatores que: apresentavam clara evidência causal; podiam ser aplicados a nível mundial; existiam estimativas de exposição em nível mundial e tinham significativo impacto sobre a saúde da população. Entretanto, esta avaliação considerava uma pequena quantidade de fatores de riscos ambientais e limitada quantificação dos impactos para condições específicas de saúde. Segundo este estudo os fatores ambientais de risco eram responsáveis por apenas 9,6% da carga total de doenças. Este valor era bastante inferior ao valor, até então conhecidos, das cargas de doenças atribuídas ao ambiente (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

A Avaliação Comparativa de Risco (2002), revisada em 2006, resultou em nova estimativa da carga ambiental de doenças, a qual cobriu ampla faixa de fatores de risco ambiental, categorias de doenças e condições de saúde. O Quadro 4.15 mostra os fatores de risco em relação às doenças ou riscos considerados nessa revisão (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Neste novo estudo foi utilizado o conceito de fatores de risco “modificáveis” definidos como fatores que podem ser eliminados ou reduzidos por meio de alguma forma de gestão ou intervenção no ambiente. Nessa estimativa não foram consideradas certas doenças associadas com mudanças, danos ou depleção de ecossistemas e da exposição a disruptores endócrinos⁽⁷⁾.

Portanto o resultado deste estudo permanece uma estimativa conservadora da carga de doenças global (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Os fatores de riscos ambientais contribuem com 24% da carga global de doenças medidas em DALYs, e em 23% de todas as mortes.

Os dados utilizados a seguir são baseados no referido estudo (*op.cit.*) por ser a estimativa mais atual e abrangente sobre o assunto. A carga de doenças – como de resto quase tudo - está distribuída pelo mundo de forma bastante desigual; determinadas regiões têm uma carga desproporcionadamente elevada de doenças ligadas ao ambiente.

A grande maioria dessa carga está distribuída entre os países em desenvolvimento e, evidentemente, nas regiões mais pobres a “fração ambiental” é maior, como mostra a Figura 4.14. Algumas regiões têm elevada carga de doenças – caso da sub-região WHO Afr D⁽⁸⁾ (31%; 28 – 34%), e em outras - as regiões EMR D⁽⁸⁾, SEAR D⁽⁸⁾ e AFR E⁽⁸⁾ – a carga em questão variou de 25 – 30%.

Em subregiões industrializadas, esta carga é menor, com somente 16% (15-18%) da carga total de doenças. A diferença de valores em relação ao valor médio da carga de doenças (24%) é devida à diversidade das exposições aos riscos ambientais e ao acesso aos serviços de saúde (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

⁽⁷⁾ Disruptores Endócrinos Químicos, nome dado às substâncias exógenas que causam efeitos adversos à saúde de um organismo ou que são progênios secundários que alteram a função endócrina e interferem em sua homeostase e em seu processo de desenvolvimento. (KACLOCK et al., 1996).

⁽⁸⁾ No anexo 1 é apresentado o conjunto dos países agrupados segundo as sub-regiões da OMS.

Quadro 4.14 - Fatores de risco ambiental e doenças relacionadas.

Fatores de risco	Doenças relacionadas
Poluição do Ar Externa	Infecções respiratórias Doenças cardiopulmonares e câncer de pulmão
Poluição do Ar Interna devido ao uso de combustíveis sólidos (biomassa)	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
Chumbo	Retardo Mental Moderado Doenças Cardiovasculares
Água, Esgotamento Sanitário e Higiene	Doenças diarreicas, Tracoma, Esquistossomose, Ascaridíases, Tricuríases, Ancilostomíases.
Mudanças Climáticas	Doenças diarreicas, malária, desnutrição proteína-energia.
Fatores Ocupacionais Seleccionados: Traumatismos Carcinogênicos Ruído Partículas transportadas pelo Ar Estressores Ergonômicos	 Traumatismos não intencionais Cânceres Perda de audição Asma e doença Pulmonar obstrutiva crônica Dor Lombar Baixa

Fonte: adaptado de Prüss-Üstün e Corvalán (2006).

Quadro 4.15 - Valores indicativos para frações atribuíveis a fatores de risco ambiental em relação a doenças ou riscos específicos.

Fator de Risco Doença ou Risco	Água, saneamento e Higiene	Poliuição do Ar Interna	Poliuição do Ar Externa	Ruído	Outros riscos devido a habitação	Produtos Químicos	Ambiente Recreacional	Gestão dos recursos hídricos	Uso do solo e ambiente construído	Outros riscos comunitários	Radiação	Ocupação	Mudanças Climáticas
Respiratórias Inferiores													
Respiratórias Superiores													
Doenças diarreicas													
Malária													
Infecções Intestinais nematóides													
Tracoma													
Esquistossomose													
Doença de Chagas													
Filariose Linfática													
Oncocercose													
Leishmaniose													
Dengue													
DST													
HIV/AIDS													
Hepatites B e C													
Tuberculose													
Condições Perinatais													
Anomalias Congênitas													
Desnutrição													
Cânceres													
Desordens Neuropsiquiátricas													
Catarata													
Surdez													
Doenças cardiovasculares													
Asma													
Doenças musculoesqueléticas													
Inatividade física													
Acidentes de Trânsito													
Quedas													
Afogamentos													
Incêndios													
Envenenamento													
Outros danos não intencionais													
Violência													
Suicídio													
Fatores atribuíveis ao ambiente:													

Fonte: adaptado de Prüss-Üstün e Corvalán (2006).

Figura 4.14 - Carga ambiental de doenças segundo sub-regiões da OMS⁽⁸⁾.
Fonte: adaptado de Prüss-Üstün e Corvalán (2006).

A fração atribuível ao ambiente é ligeiramente maior para homens do que para as mulheres (25%); Esse trabalho constatou, também, que as maiores diferenças foram encontradas nas doenças transmissíveis cujo número total de anos perdidos de vida saudável *per capita* é 15 vezes maior em países em desenvolvimento do que em países desenvolvidos.

As doenças com as maiores cargas atribuíveis aos fatores ambientais modificáveis são mostradas na Figura 4.15; entre elas podem ser destacadas diarreias, infecções respiratórias inferiores, outros danos não intencionais e malária. Foi estimado que 94% da carga de doenças diarreicas é atribuível ao ambiente e estão associadas a fatores de risco como água para consumo humano insegura e inadequados esgotamento sanitário e higiene. Entre as infecções respiratórias inferiores estima-se que são atribuíveis a causas ambientais 20% nos países desenvolvidos e 42% nos países em desenvolvimento, infecções essas associadas à poluição do ar interna devido ao uso de combustíveis sólidos nas residências, ao hábito de fumar e, também, à poluição do ar externa. Entre outros danos não intencionais, cerca de 44% são atribuíveis aos fatores ambientais associados: aos perigos nos ambientes de trabalho, à radiação e a acidentes industriais. A proporção de malária atribuível aos fatores ambientais modificáveis é de 42% e está associada

às políticas e práticas relacionadas ao uso e ocupação do solo, ao desmatamento, à gestão dos recursos hídricos, à localização dos assentamentos humanos e à drenagem das águas (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Figura 4.15 - Doenças com contribuições ambientais mais altas.
Fonte: adaptado de Prüss-Üstün e Corvalán (2006).

As principais doenças que contribuem para a carga ambiental de doenças para a população mundial estão indicadas na Figura 4.16.

Para populações pobres de países em desenvolvimento, a carga ambiental é devida principalmente aos perigos tradicionais como diarreia e doenças respiratórias. Entretanto, atualmente, essas populações também enfrentam os perigos modernos associados ao aumento da poluição industrial e dos resíduos perigosos; ou seja, os países em desenvolvimento têm suportado dupla carga de doenças – por estarem expostos simultaneamente aos perigos tradicionais e aos modernos, principalmente nas áreas urbanas que têm tido grande e rápida expansão associada à habitações informais e à crescente industrialização sem apropriados planejamento e regulação (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Figura 4.16 - Principais doenças que contribuem para a carga ambiental de doenças, para a população total.

Fonte: adaptado de Prüss-Üstün e Corvalán (2006).

Mais de um quarto da carga total de doenças ligadas aos perigos tradicionais está associada à doenças diarreicas, atribuíveis à deficiências no abastecimento de água, disposição de excretas e higiene pessoal e doméstica. Mais de 99,8% das mortes associadas a este fator ocorrem em países em desenvolvimento, dos quais 90% são mortes de crianças (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Na verdade, as crianças são as que mais sofrem com a desigual distribuição da carga ambiental das doenças; a elas são atribuídas as mais altas taxas de mortalidade, com mais de quatro milhões de mortes anuais causadas por fatores ambientais. A taxa de mortalidade entre crianças recém nascidas por conta dos fatores ambientais é doze vezes maior nos países em desenvolvimento do que em países desenvolvidos, refletindo o ganho de saúde humana que poderia ser alcançado através de intervenções que criassem ambientes saudáveis (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Entre as crianças de 0 a 4 anos de idade, 36% da carga geral de doenças é atribuída aos fatores de risco ambiental modificáveis, mas essa proporção é 34% entre as crianças de 0 a 14 anos de idade. A mortalidade devida à diarreia, malária e infecções respiratórias, contribuíram com 24% de todas as mortes em crianças abaixo de 14 anos de idade, como mostra a Figura 4.17. As condições perinatais, desnutrição

e os danos não intencionais são outros importantes riscos ambientais aos quais as crianças estão submetidas (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Figura 4.17 - Principais doenças contribuintes para a carga ambiental de doenças entre crianças de 0 a 14 anos de idade.

Fonte: adaptado de Prüss-Üstün e Corvalán (2006).

O número de anos perdidos de vida saudável *per capita* para fatores ambientais de risco é cerca de 5 vezes maior nas crianças com menos de 5 anos de idade em relação à população total. A diferença é 7 a 10 vezes maior para a maioria das doenças como infecções respiratórias inferiores e superiores, diarreia, malária e desnutrição. Em média, as crianças que vivem em países em desenvolvimento perdem 8 vezes mais anos de vida saudável do que as de países desenvolvidos (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006).

Existem diversas formas de reduzir ou eliminar a carga ambiental das doenças e, além do mais, as intervenções ambientais oferecem algumas vantagens sobre as demais, pois:

- Previnem doenças antes que elas apareçam e, portanto, eliminam os custosos tratamentos ligados à assistência médica e carga alguma é produzida pela população;
- Tais intervenções geralmente são mais sustentáveis, pois o impacto sobre a saúde é de longo prazo comparado ao tratamento médico;

- As modificações ambientais freqüentemente são opções mais justas e geram benefícios para toda a comunidade (CAIRNCROSS et al., 2003).

As intervenções em saúde ambiental freqüentemente produzem benefícios que vão além da imediata melhoria da saúde. Entre os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, uma meta importante é, até 2015, reduzir à metade a proporção de pessoas sem acesso sustentável à água para consumo humano e ao esgotamento sanitário. A OMS estimou que os benefícios gerais para a economia de atingir essa meta – essencial para reduzir as taxas de diarreia, infecções intestinais por nematóides e desnutrição – ultrapassam o custo de investimento na proporção de 8:1 (WHO e UNICEF, 2000). Também foi estimado que fornecer água segura para consumo humano e esgotamento sanitário adequado para as residências dos países em desenvolvimento resultaria ganho médio de 60 minutos por residência/dia na coleta de água (OMS, 2004c).

O adequado esgotamento sanitário também ajuda a quebrar o ciclo por meio do qual os agentes patogênicos freqüentemente contaminam a água para consumo humano. Assim a redução da poluição ambiental também beneficia a pesca, a indústria de alimentos, as atividades recreacionais que usam água, o setor saúde (através da diminuição dos custos com assistência médica) e o setor trabalho (com a redução de dias de trabalho perdidos com doenças). A seguir está detalhada a relação entre abastecimento de água, esgotamento sanitário, higiene e doenças.

4.17 O ABASTECIMENTO DE ÁGUA, O ESGOTAMENTO SANITÁRIO E A HIGIENE COMO FATORES DE RISCO

4.17.1 Breve Histórico

A compreensão da importância da água pelo homem remonta às mais antigas civilizações. Nesse aspecto as histórias da humanidade e da água se confundem a ponto de algumas civilizações serem denominadas civilizações hidráulicas. A civilização humana nasceu em quatro grandes bacias hidrográficas: nos vales do Rio Nilo no Egito; nas bacias dos Rios Tigre e Rio Eufrates, na Mesopotâmia; nos vales do indomável Rio Amarelo na China e na bacia do Rio Indo, onde hoje é o Paquistão. As enchentes periódicas de todos eles, a aridez do clima e a baixa fertilidade do solo obrigaram essas sociedades a aprenderem a usar, com

racionalidade e eficiência, os recursos hídricos disponíveis para a prática da agricultura.

No entanto, foi mais lento e tortuoso o caminho que levou o homem a perceber a relação água para consumo humano e saúde. Embora os escritos hipocráticos já mencionassem a possível relação entre os chamados miasmas – nome dado às emanções fétidas provenientes de áreas alagadiças – e malária, somente no final do século XIX foi possível estabelecer a verdadeira relação entre elas. Durante toda a idade média e parte da moderna prevaleceu à concepção que a transmissão das doenças era devida às emanções provenientes de animais ou vegetais em decomposição. A antiga concepção de Hipócrates a respeito das doenças serviu de base para Thomas Sydenham (1624-1689) e Giovanni Maria Lancisi (1654-1720) proporem a Teoria Miasmática das doenças, segundo a qual o conjunto de emanções fétidas dos solos e das águas impuras seriam causadoras das enfermidades.

Figueiredo Lima (1960) relatou que ao iniciar-se a Idade Moderna, Hyeronimus Fracastorius – nome alatinado de Fracastório – foi quem transformou em corpo de doutrina as antigas concepções populares, segundo as quais as doenças eram causadas por “elementos” capazes de se propagar através do ar e de objetos contaminados. Esses elementos, denominados *seminaria*, estariam albergados nos doentes, sofreriam reprodução e poderiam ser transmitidos a outras pessoas. Fracastório – em sua obra sobre epidemiologia “*De contagionibus, de contagiosis morbis et eorum curatione*” - descreveu os três modos possíveis de transmissão do elemento contagiante, a saber: por contágio direto; por meio de objetos contaminados, que ele denominou fômites, nome até hoje usado em epidemiologia; e à distância. O papel atribuído ao ar na transmissão à distância foi considerado preponderante, pois, Fracastório acreditava que as sementes específicas das doenças se propagassem como um gás venenoso cuja difusão seria semelhante à da fumaça, e que penetraria no corpo humano através das vias respiratórias. Assim, nos casos de contágio à distância, o melhor meio para combater a infecção, seria purificar o ar, queimando as matas e os bosques. Desta forma ele, conseguiu fazer voltar à baila a idéia revolucionária de um elemento contagiante de natureza particulada e não gasosa – como os miasmas pestilentos das velhas concepções que vigoravam desde Hipócrates. Contudo, as medidas de prevenção e combate às epidemias permaneceram as mesmas: quarentenas, fogueiras e incensos odoríficos. Para

Fracastório o papel da água na veiculação das doenças epidêmicas era considerado praticamente nulo.

A partir do século XVI, os ensinamentos de Fracastório foram abandonados pela ciência médica oficial e como suas teorias não puderam ser verificadas experimentalmente, por mais trezentos anos a ciência médica permaneceu atrelada às antigas concepções miasmáticas (FIGUEIREDO LIMA, 1960).

Coube a John Snow, através de pesquisa histórica feita em 1854, comprovar cientificamente a associação entre a fonte de água consumida pela população de Londres e a incidência do cólera. A investigação de Snow – que ocorreu cerca de 20 anos antes da descoberta do microscópio e da era bacteriológica, foi exaustivamente debatida e conseguiu por fim à teoria miasmática (SNOW, 1990).

As investigações após John Snow, que tiveram como expoentes Robert Kock e Louis Pasteur, contaram com um valente colaborador – o microscópio, que lhes permitiu identificar os principais organismos patogênicos, como mostra o Quadro 4.16.

Quadro 4.16 - Descoberta de organismos patogênicos

Ano	Doença / organismo	Investigador
1880	Febre tifóide Hanseníase Malária	Eberth Hansen Laveran
1882	Tuberculose	Koch
1883	Cólera Estreptococo (erisipela)	Koch Fehleisen
1884	Difteria Febre tifóide (isolamento do bacilo) Estafilococo Tétano	Klebs e Loeffler Gaffky Rosenbach Nicolaier
1885	Coli	Escherichia
1886	Pneumococo	A. Fraenkel
1887	Febre de Malta Cancro mole	Bruce Ducrey
1892	Gangrena gasosa	Welch e Nuttal
1894	Peste Botulismo	Yersin, Kitasato Van Ermengen
1898	Bacilo da disenteria	Shiga

Fonte: Rosen (1994).

Na segunda metade do século XIX os casos de morte por doenças infecciosas – principal causa de óbitos da época – começaram a diminuir devido: à intervenções da saúde pública, incluindo vigilância sanitária e vacinação e a uma melhor dieta alimentar. Na Europa, a partir da "era industrial", no final do século XIX, os planos de urbanização nas grandes cidades foram conjugados à abertura de novos bairros e ao início da implantação de infra-estrutura de água tratada e de coleta de esgoto, essas ações constituíram um grande passo para a Saúde Pública.

Em 1893 Hiram F. Mills e J.J. Reincke identificaram uma correlação negativa entre taxa de mortalidade devido a outras doenças que não febre tifóide e o tratamento da água. Mills e Reincke trabalharam independentemente, sem que houvesse contato algum entre ambos antes de suas descobertas. Mills – após a implantação da filtração de água em duas cidades americanas Lowell e Lawrence, Massachusetts – reportou ter havido mudanças na taxa de mortalidade de outras doenças não-tifóides; e Reincke documentou fato semelhante em Hamburgo, Alemanha. Posteriormente, as observações feitas por Mills e Reincke foram avaliadas por Allen Hazen e William T. Sedgewick, os quais verificaram que o Fenômeno Mills-Reincke, como passou a ser conhecido, ocorreu de forma similar em Zurique (Suíça), Albany (New York), Binghamton (New York), Watertown (New York), Newark (New Jersey), New Jersey (New Jersey e Manchester (New Hampshire). Hazen e Sedwick referiram que o grau do fenômeno havia variado de local para local e concluíram que, em média, para cada morte prevenida de febre tifóide devido à filtração da água, duas a quatro mortes foram evitadas por outras causas não relacionadas à água. Em New York, para cada morte prevenida devido à febre tifóide dez ou mais mortes foram evitadas. Entretanto Hazen e Sedwick apenas relataram os dados, mas não apresentaram qualquer explicação para a ocorrência destas variações em seus estudos (FERRIE e TROESKEN, 2005).

Por volta de 1960 estudos que buscavam relacionar os benefícios do saneamento à saúde da população encontraram grandes dificuldades em detectar esses benefícios e chegaram mesmo a levantar dúvidas quanto à sua existência (CAIRNCROSS, 1989).

Segundo Briscoe (1987) na década de 1970 predominava a visão que, nos países em desenvolvimento, avanços nas áreas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário resultariam na redução das taxas de mortalidade, a exemplo do

ocorrido nos países industrializados no século passado. Por este motivo a política para a área de saúde, emanada dos órgãos de fomento internacionais, excluíram o saneamento nos programas de atenção primária à saúde. Tal medida estava baseada no argumento que o custo que cada disfunção infantil prevenida por meio de programas de abastecimento de água e esgotamento sanitário seria superior ao custo de outras medidas de atenção primária, como a terapia de rehidratação oral, vacinas, tratamento contra malária e aleitamento materno. Tais considerações eram errôneas porque consideravam o custo bruto das intervenções ambientais (saneamento) e não seu custo líquido. A comparação econômica correta deveria deduzir – dos custos brutos com a implantação e operação dos sistemas de saneamento – os valores pagos pelo serviço por parte da população, na forma de tarifas e taxas (BRISCOE, 1987).

Em 1978, na Conferência sobre Atenção Primária na Saúde (*Primary Health Care*), realizada pela OMS e UNICEF em Alma-Ata, na antiga URSS (atual Cazaquistão), foram evidenciados alguns conceitos importantes:

- 1°. Em todo o mundo, cerca de 80% de todas as doenças estão relacionadas ao inadequado controle da água: doenças de transmissão hídrica como febre tifóide; doenças como tracoma devido a quantidade insuficiente de água para higiene; doenças como a esquistossomose proveniente da infestação de animais aquáticos; moléstias como malária, dengue, febre amarela ligadas a contaminação de coleções de água nas quais se desenvolvem larvas de insetos transmissores.
- 2°. O problema é característico dos países em desenvolvimento e sua magnitude pode ser medida por três exemplos: cerca de 400 milhões de pessoas com gastroenterites, 200 milhões com esquistossomose e 160 milhões com malária;
- 3°. Para assegurar água segura para todos até 1990, bastaria que nos orçamentos vigentes tivesse sido acrescentado, um sexto (1/6) do montante das contas anuais com armamentos;
- 4°. A Promoção Prioritária de Saúde preceitua que ela não é um produto criado em hospitais por médicos, mas sim no ambiente humano;
- 5°. A doença deve ser encarada como um componente do ambiente (YASSUDA, 1989).

A Assembléia Geral das Nações Unidas, em uma tentativa de sensibilizar a vontade política dos países em desenvolvimento, aos 10 de novembro de 1980, proclamou os anos 80 como a Década Internacional de Abastecimento de Água e do Esgotamento Sanitário. A partir deste marco houve aprofundamento dos estudos que envolviam condições sanitárias e saúde e que buscavam identificar e quantificar os efeitos que as intervenções; em especial as do saneamento básico, podiam produzir sobre uma comunidade. Entre estas pesquisas destacam os estudos de Shuval et al. (1981); Briscoe, (1984b e 1987) e Cvjetanovic, (1986) (YASSUDA, 1989; HELLER, 1997).

Shuval et al. (1981) desenvolveram a teoria do limiar de saturação, na qual procuraram considerar o papel dos determinantes sociais para verificar a relação entre o nível sócio-econômico e as condições de saneamento e saúde. Esses autores referiram a existência de um limiar sócio-econômico/saúde, abaixo do qual os investimentos em saneamento não resultam benefícios concretos e acima do qual um incremento no investimento não produz novos benefícios à saúde. Estudos epidemiológicos realizados em países pobres da África e Ásia demonstraram que intervenções em saneamento tinham significativos impactos sobre a saúde da população, o que contestava a presença de um limiar conforme proposto por Shuval (BRISCOE, 1987 e HELLER, 1997).

Por outro lado. Briscoe (1984a, 1987), a partir de estudos das várias rotas de contaminação de doenças, especialmente as diarreias e o cólera, desenvolveu um modelo para explicar o efeito da eliminação de apenas parte das múltiplas vias de transmissão de determinada doença. Esse modelo levou à conclusão que a eliminação de uma via de transmissão pode diminuir a probabilidade de transmissão, mas não é suficiente para garantir sua erradicação. Briscoe (1987) afirmou, ainda, que os sistemas de saneamento (abastecimento de água e esgotamento sanitário), em longo prazo, apresentam efeitos bem maiores sobre a saúde do que os obtidos pela assistência médica.

Cvjetanovic (1986) com vistas a obter um panorama mais abrangente sobre a questão da saúde, agregou ao seu estudo fatores sociais e econômicos. Este modelo ilustrado na Figura 4.18 indica que os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário proporcionam benefícios gerais à saúde da população mediante efeitos diretos e indiretos. Segundo o autor é preciso buscar uma compreensão mais adequada das condições de saúde e de vida, pois elas não estão

restritas à mensuração de frequências das doenças associadas à oferta de serviços de saneamento, mas abrangem entendimento dos fatores ambientais, culturais e econômicos (ALMEIDA e VERMELHO, 1997).

Figura 4.18 - Esquema conceitual dos efeitos diretos e indiretos do abastecimento de água e esgotamento sanitário sobre a saúde.
Fonte: Soares et al. (2002).

A Assembléia Geral da ONU em 2000 adotou a “Declaração do Milênio”, lançada durante a Conferência Mundial da Água, realizada em 1977, em Mar Del Plata na Argentina. Nessa declaração foram apresentados os Objetivos de Desenvolvimento para o Milênio, que destacou a importância do abastecimento de

água e esgotamento sanitário (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, 2008).

Durante a Conferência do Milênio, promovida pela Organização das Nações Unidas em Setembro de 2000, 191 países – a maioria dos quais representados na conferência por seus chefes de estado ou governo – subscreveram a Declaração do Milênio, que estabeleceu um conjunto de metas para erradicar a pobreza no mundo – os chamados Objetivos de Desenvolvimento do Milênio ou ODMs (em inglês *Millennium Development Goals - MDGs*), a saber:

- A erradicação da pobreza e da fome
- A universalização do acesso à educação primária
- A promoção da igualdade entre os gêneros
- A redução da mortalidade infantil
- A melhoria da saúde materna
- O combate à AIDS, malária e outras doenças
- A promoção da sustentabilidade ambiental
- O desenvolvimento de parcerias para o desenvolvimento

Dessa lista de 8 metas internacionais comuns, 18 objetivos e mais de 40 indicadores foram definidos conjuntamente pela ONU, Banco Mundial, Fundo Monetário Internacional (FMI) e OCDE, tendo em vista possibilitar um entendimento e avaliação uniformes dos ODMs, em níveis global, regional e nacional. As metas definidas devem ser atingidas, em sua maioria, em um período de 25 anos (entre 1990 e 2015). Os ODMs devem ser ajustados de modo a levar em conta as especificidades nacionais. Assim, cada país deverá adaptar as metas e os objetivos fixados internacionalmente e adicionar outras metas e objetivos relevantes para a sua situação específica.

Cairncross et al. (2003) afirmam que melhorias na saúde ambiental são essenciais quando são buscados progressos acelerados e sustentáveis a fim de se alcançar os ODM, porque a saúde ambiental contribui diretamente nas metas para reduzir a mortalidade infantil, estendendo o acesso de água e esgotamento sanitário e melhorando a vida dos habitantes da zona urbana, além de contribuir significativamente com o atendimento de outras metas como mostra o Quadro 4.17.

Os efeitos multifacetados das medidas de saúde ambiental vão além de seus impactos específicos nos ODMs. Eles contribuem com recursos para famílias e comunidades, reduzem a vulnerabilidade às doenças, além de promover meios de vida sustentáveis.

Quadro 4.17 - Contribuições da saúde ambiental para os ODMs.

ODMs: Metas	Contribuições da saúde ambiental
Meta 1: Erradicar a pobreza extrema e a fome.	Um ambiente saudável significa pessoas saudáveis, capazes de garantir melhorias de sustento e quebra do ciclo de pobreza e doenças.
Meta 2: Alcançar a universalização da educação primária.	Livre de doenças diarreicas e outros perigos para a saúde ambiental resultará no aumento do comparecimento e participação na escola. O saneamento das escolas é um importante determinante para o comparecimento de meninas.
Meta 3: A promoção da igualdade entre os gêneros	Como a carga de doenças ambientais recai desproporcionalmente nas mulheres, intervenções eficazes ajudam a melhoria de vida das mulheres e as fortalece através do aumento da sua participação comunitária.
Meta 4: Reduzir a mortalidade infantil	Apropriadas intervenções na saúde ambiental podem significativamente reduzir o número de crianças abaixo de 5 anos que morrem como um resultado da poluição interna do ar e o abastecimento de água insegura, esgotamento sanitário e higiene
Meta 5: Combate HIV/AIDS, malária e outras doenças	Medidas preventivas em saúde ambiental são tão importantes e ao mesmo tempo mais custos-eficazes do que os tratamentos de saúde (isto é, redes nos leitos para a prevenção da malária).
Meta 6: Garantir a sustentabilidade ambiental: <ul style="list-style-type: none"> • Reduzir pela metade até 2015, a proporção de pessoas sem acesso sustentável a água segura para consumo humano. • Reduzir pela metade até 2015 a proporção de pessoas sem acesso sustentável ao esgotamento sanitário. • Até 2020, ter alcançado uma significativa melhoria de vida para pelo menos 100 milhões de moradores de favelas. 	Estas metas são expressas em termos de melhorias da saúde ambiental; medidas de saúde ambiental tais como abastecimento de água e esgotamento sanitário contribuem para as ODMs como descrito acima, mas também diretamente nessa meta específica.

Fonte: adaptado de Cairncross et al. (2003).

4.17.2 A água como veículo de transmissão de doenças

A água é necessidade fundamental para a vida; um inadequado suprimento de água propicia a propagação de doenças e, sem ela, a vida não pode ser mantida além de muito poucos dias. Além das doenças diarreicas já citadas, outras doenças

relacionadas ao uso da água, esgotamento sanitário e higiene contribuem com uma carga adicional de doenças, como tracoma, esquistossomose, ascaridíase e outras verminoses, tricuriases, malária, dengue.

A falta de acesso a um abastecimento de água adequado e seguro contribui para a continuidade da pobreza através de despesas adicionais com assistência médica, de gastos domésticos para aquisição de água ou de tempo necessário para a coleta e transporte de água até a residência. No ano 2000 foi estimado que um sexto da humanidade, cerca de 1,1 bilhão de pessoas não tinham acesso a adequado abastecimento de água nas proximidades de sua residência (WHO e UNICEF, 2000). A importância em dar grande ênfase ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário é devida primeiramente à saúde pública. Sistemas de água e esgoto adequados podem melhorar a qualidade de vida da população, facilitar o desenvolvimento de outras atividades, além de proporcionar economia de tempo; mas, sem dúvida, o principal benefício é a melhoria da saúde.

Um adequado abastecimento de água próximo à residência e um banheiro higiênico são considerados as bases das mudanças ambientais e sociais que produziram drástico declínio das doenças infecciosas na Europa e América do Norte nos últimos 130 anos. Feachem (1983b) destacou, também, que embora a mortalidade por doenças infecciosas possa ser reduzida apenas pela assistência médica, a morbidade pode ser significativamente reduzida por medidas preventivas; a melhoria do abastecimento de água e do esgotamento sanitário são medidas preventivas fundamentais para a saúde de qualquer população. Contudo, para o consumidor de baixa renda, o principal benefício do abastecimento de água e do esgotamento sanitário é a conveniência de ser abastecido em casa, além da economia por deixar de recorrer a vendedores de água. Para os usuários, os principais benefícios de um banheiro são: a conveniência, o conforto, a privacidade e a melhoria estética do ambiente. Estes benefícios e o valor que o público lhes dá, na maioria dos casos, são suficientes para justificar o investimento no saneamento, mesmo que eles não percebam os benefícios à saúde. Para Cairncross (1997) esta é uma coincidência feliz, uma vez que os aspectos mais favoráveis à saúde geralmente também trazem vantagens para o consumidor.

O sistema de saneamento de uma comunidade, bem projetado, construído, operado, mantido e conservado, evita que a água seja um meio de transmissão de doenças que, de início foram classificadas em dois grandes grupos:

- Doenças de transmissão hídrica – aquelas em que a água atua como veículo propriamente dito do agente infeccioso, como por exemplo, no caso de febre tifóide, da disenteria bacilar, do cólera etc.;
- Doenças de origem hídrica – aquelas decorrentes de certas substâncias químicas, denominadas contaminantes químicos, que por estarem contidas na água em teor inadequado são responsáveis por doenças como fluorose, metemoglobinemia, bócio, saturnismo.

As doenças de origem hídrica têm maior importância para a saúde pública em determinadas áreas e, em países em desenvolvimento, são ofuscadas pelas infecções transmitidas pela água.

Como este estudo busca avaliar os riscos microbiológicos serão detalhadas as doenças de transmissão hídrica, tratadas aqui sob o enfoque das estratégias mais adequadas para o controle de sua transmissão. O interesse da saúde ambiental na transmissão das doenças não está na natureza biológica do agente, nem em sua manifestação clínica no doente, mas está focado no comportamento do agente etiológico no ambiente, pois as intervenções ali realizadas é que poderão diminuir ou até eliminar a transmissão de doenças. Deste modo, é extremamente importante conhecer alguns conceitos de epidemiologia associados ao papel do ambiente na transmissão de doença.

4.17.3 Aspectos epidemiológicos do papel do ambiente na transmissão de doenças

As enfermidades transmitidas por agentes infecciosos são referidas na Epidemiologia como doenças transmissíveis ou moléstias infecciosas. Segundo Forattini (1980) doença transmissível é o nome dado às afecções passíveis de serem adquiridas de um ser vivo a outro ser vivo. O termo infecção é usado para o processo que implica penetração seguida de desenvolvimento ou multiplicação no interior dos órgãos ou tecidos, com ou sem sintomatologia aparente; de maneira geral, os agentes envolvidos são microrganismos ou organismos unicelulares.

A terminologia infestação é usada para referir aquela situação em que o agente etiológico se aloja na superfície corporal do hospedeiro; na maioria das vezes, eles são seres pluricelulares, como artrópodes e helmintos.

Sob o ponto de vista ecológico, doença transmissível é o resultado do relacionamento da população humana com outra população da biosfera cujo indivíduo é o agente etiológico. A relação homem/agente etiológico pode levar ao quadro epidemiológico da infecção ou infestação.

A análise epidemiológica clássica procura identificar e descrever os três componentes fundamentais da transmissão de doença— a fonte, o novo hospedeiro e o ambiente – e, também, os aspectos relacionados à transmissão, ou seja, o mecanismo ou o conjunto de circunstâncias de que o agente se vale para poder garantir sua sobrevivência no ecossistema.

4.17.3.1 Fonte

Fonte é o nome dado a todo ser animado que encerra o agente passível de veiculação a outros seres vivos. No entanto, reservatório ou fonte primária é a nomenclatura usada para, de maneira específica, designar o local onde o agente vive e se multiplica; e a terminologia fonte ou fonte secundária designa apenas a localidade em que ele se aloja, aguardando a oportunidade de invadir novo organismo (FORATTINI, 1980).

No estudo epidemiológico das fontes de infecção é necessário conhecer a interação entre o hospedeiro e o agente, pois o organismo ao abrigar o agente infectante pode se comportar de duas maneiras: apresentar sintomatologia clínica ou revelar-se assintomático, isto é, no momento do exame não há sintomatologia aparente, embora estejam infectados, uma vez que albergam o agente em seu organismo. Conhecidos genericamente como portadores, eles se apresentam de duas formas: agentes passivos, aqueles que nunca apresentaram os sintomas das doenças; e portadores ativos os que já os tiveram no passado, ou poderão vir a tê-los no futuro.

As propriedades fundamentais do reservatório encontram-se intimamente ligadas às consequências de sua interação com o agente. As qualidades da fonte em desencadear o processo infeccioso são fundamentais para desenvolvimento das suas relações com o hospedeiro (FORATTINI, 1980). Estas propriedades podem ser assim descritas:

- Infectividade: é a capacidade do agente em invadir o organismo hospedeiro e ali permanecer, multiplicando-se ou desenvolvendo-se, ou ambas as coisas.
- Patogenicidade: é a capacidade de provocar sintomatologia.

- Virulência: é a gravidade dos efeitos provocados no organismo atingido uma vez instalada a infecção.
- Poder imunogênico: é a capacidade de provocar o desenvolvimento de reações imunitárias no organismo atingido.

4.17.3.2 Novo hospedeiro

A denominação suscetível é dada ao novo hospedeiro que, graças a condições próprias de receptividade, permite a entrada e a colonização do agente em seu organismo. Em contrapartida, resistente será aquele que, em virtude da disponibilidade de defesas eficientes, específicas ou não, impede essa invasão e deixa assim de se infectar. O termo refratariedade é usado para referir a condição que atinge toda a espécie, e que se caracteriza pela completa inviabilidade de instalação do agente no organismo (FORATTINI, 1980).

4.17.3.3 O ambiente

Para Forattini (*op.cit.*) a influência do meio nas doenças transmissíveis reside na atuação de fatores físicos e biológicos. Entre os fatores físicos estão incluídos clima, relevo, hidrografia e geologia; entre os biológicos, flora, fauna e a própria sociedade humana, através do que se denomina condições socioeconômicas.

É notória a influência do clima, representado principalmente pela temperatura e umidade. Muitos agentes encontram condições de sobrevivência quando esses dois fatores atuam favoravelmente. Na infância, as infecções gastrointestinais tendem a aumentar na época quente do ano pois, nessa oportunidade, os processos de veiculação tornam-se mais viáveis. O elevado teor de umidade é produto da abundância de precipitações pluviais, propicia aumento da densidade de artrópodes vetores, bem como a sobrevivência de helmintos, bactérias e fungos. As inundações resultantes de grandes chuvas têm sido associadas à ocorrência de surtos de leptospirose.

As condições de relevo e hidrografia também exercem apreciável papel, os vales e as encostas favorecem as infecções. A malária ocorre preferivelmente nas terras baixas, e as doenças decorrentes da contaminação do solo mostram distribuição análoga, graças à facilidade com que os agentes são carregados pelas águas das chuvas. As características do sistema fluvial encontram-se estreitamente relacionadas à proliferação de vetores, dos quais os responsáveis pela transmissão da

esquistossomíase ou esquitossomose constituem exemplo típico. Por sua vez, a natureza do terreno e a conseqüente cobertura vegetal são aspectos importantes na manutenção de várias endemias como a ancilostomíase. Assim é que a constituição arenosa é mais favorável à sobrevivência das larvas infestantes desses nematóides do que a compacidade que caracteriza os terrenos argilosos.

Os fatores biológicos também têm grande importância na definição do quadro epidemiológico das doenças transmissíveis; com destaque para a flora e a fauna, naturais ou introduzidas. Por outro lado, as características sociais da população humana e suas comunidades, constituem aspectos de enorme relevância, por participarem da composição dos ecossistemas. Estas comunidades dão origem à biocenoses cujos membros são dotados de maior relacionamento entre as espécies; as infecções e infestações são conseqüência disso.

4.17.3.4 A sobrevivência do agente

O agente infeccioso ao se relacionar como o hospedeiro necessita superar certas situações para poder sobreviver. O processo de superação deste conjunto de situações é denominado transmissão. A sobrevivência do agente depende de sua capacidade de se transmitir; para a ocorrência da transmissão têm que ser atendidos vários requisitos os quais, de forma geral, estão relacionados às maneiras de sair da fonte, resistir ao ambiente e penetrar no suscetível.

Em relação às formas pelas quais o agente sai do hospedeiro, ou seja suas vias de eliminação, são específicas de cada agente, o qual apresenta aspectos de adaptação que o tornam especializado em alguma forma de saída. Muitos agentes se adaptaram à eliminação pelas vias aéreas, enquanto outros dependem das descargas intestinais e à produção de secreções várias. Para a malária o agente infeccioso somente sai do hospedeiro através do revestimento cutâneo e, ainda assim, em determinados momentos do seu ciclo biológico. Por sua vez, a adaptação altamente especializada do parasito responsável pela esquistossomíase intestinal, que o localiza nas veias do plexo hemorroidário, fez com que sua eliminação viesse a depender de perfuração da parede do retossigmóide, com a finalidade de permitir que os ovos tenham acesso à luz intestinal; é pelas fezes que eles ganham o meio externo.

De maneira geral, toda a superfície externa do organismo, incluindo os orifícios naturais, pode servir para a saída de agentes infectantes. Assim, a classificação das vias de eliminação poderá obedecer a critérios variados porém, o

mais comum, consiste em levar em conta o veículo utilizado para abandonar o organismo do hospedeiro, ou seja: secreções oro nasais, fezes, urina, sangue, leite, suor etc.

Essas vias, geralmente coincidem com áreas orgânicas que são sede de infecção, ou com aquelas nas quais o agente busca proteção ou coloniza em determinada etapa de seu ciclo biológico. Contudo, existem infecções nas quais a eliminação pode acontecer por mais de uma maneira, caso da febre tifóide, a qual, quando da ocorrência de septicemia, a eliminação se dá pelas vias fecal, urinária e sudorípara.

Uma vez fora da fonte, o agente terá que encontrar alguma forma para atingir um novo hospedeiro, ou seja, um novo organismo suscetível à infecção; o agente precisa ultrapassar a barreira desfavorável, que é representada por permanência no ambiente maior que aquela que ele seria capaz de suportar. Dessa capacidade dependerá, em boa parte, sua sobrevivência, ou seja, o êxito da transmissão.

Para a sobrevivência de alguns agentes, o ambiente externo “não pode existir”, como é o caso do vírus da AIDS, mas para outros é imprescindível a permanência no ambiente externo ao organismo, tal é o caso dos ancilostomídeos, que necessitam realizar parte de seu ciclo biológico no solo, e de agentes que cumprem essa etapa no organismo de outros seres vivos, os quais desempenham o papel de vetores.

As propriedades do agente, as características do ambiente e os vários caminhos que tornam possível a passagem do agente, da fonte para o suscetível determinam os processos gerais de transmissão, mostrado na Figura 4.19.

Transmissão com ausência do ambiente: nesse caso, é necessário que haja contato íntimo entre a fonte e o suscetível, de maneira a não haver interferência do meio exterior. Esse processo é conhecido como contágio imediato ou contato direto e implica aposição de superfícies, cutâneas, nos atos de beijar, morder, relação sexual e mesmo na passagem congênita e no ato predatório. Neste processo, os fatores de comportamento social que regem as relações entre as pessoas da população assumem elevado significado epidemiológico. O meio não tem papel algum e, muitas vezes ele pode constituir uma barreira para a transmissão das doenças.

Figura 4.19 - Representação esquemática dos processos gerais de transmissão.
Fonte: Forattini (1980).

Transmissão com reduzida presença do ambiente: neste mecanismo não é indispensável o contato íntimo, mas a transmissão é realizada graças à capacidade do agente em permanecer viável por um curto período no meio externo. Esse grau de sobrevivência limitado, contudo, é suficiente para que se processe a transmissão. Para tanto, o relacionamento entre fonte e suscetível deverá acontecer em pequeno tempo de forma a não ocorrerem danos irreversíveis para o agente. Este processo é denominado contágio imediato ou contato direto e, geralmente, os veículos usados pelo agente são objetos contaminados ou o próprio ar ambiente. Os primeiros são conhecidos pela denominação genérica de fômites e são constituídos por quaisquer artefatos que tenham recebido a carga infectante – como talheres, toalhas, copos, vestimentas – e que possam transferi-la ao novo hospedeiro quando por ele utilizados. Os fatores epidemiológicos a considerar quando o veículo é o ar ambiente estão ligados ao comportamento humano que determina maior densidade populacional, ou seja, eventos que resultam em aglomeração, confinamento e propiciam condições de proximidade favoráveis a esse tipo de transmissão.

Transmissão com considerável presença do ambiente: neste mecanismo não há necessidade de relacionamento estreito ou, pelo menos, de proximidade física entre a fonte e o suscetível. O requisito essencial está na capacidade de o agente desenvolver formas de resistência que lhe permitam permanecer no ambiente e aguardar a oportunidade de alcançar o novo hospedeiro. Esse mecanismo comumente

é designado transmissão indireta ou contaminação ambiental. O agente pode ou não desenvolver-se no ambiente, ou seja, ele pode ter comportamento passivo ou ativo. No primeiro caso algumas etapas do agente não se viabilizam no meio externo e aguardam a veiculação para uma porta de entrada do novo hospedeiro para, então, se desenvolverem. Os exemplos deste mecanismo são numerosos e encontrados em vários microrganismos eliminados pelas fezes, como vírus, bactérias e protozoários. É verdade que essa atitude passiva obriga a existência de veículos que estabeleçam ligação entre a fonte e o suscetível; eles podem ser inanimados ou animados. Veículos inanimados – alimentos e água para consumo humano, contaminada; animados – várias populações de animais domiciliados que podem carregar os agentes infectantes. São os chamados vetores mecânicos, como moscas, baratas, que apresentam a possibilidade de, com seu organismo contaminado, levar essa contaminação até o novo hospedeiro. O comportamento ativo ocorre quando o agente desenvolve fases biológicas no meio externo, dando origem a formas infectantes que ativamente procuram ganhar acesso a um novo organismo. O exemplo típico é constituído pelos parasitos da ancilostomíase e da strongiloidíase, cujas larvas infectantes desenvolvem-se no solo e penetram no suscetível, quando em contato com ele. A diferença fundamental entre as duas formas, ativa e passiva, reside no fato de, na primeira ser facultativa a permanência no ambiente; na segunda essa permanência é obrigatória para determinada fase de sua vida. A transmissão por meio de contaminação ambiental está inversamente relacionada ao saneamento do meio. A falta de adequada estrutura sanitária viabiliza a permanência de agentes fora do organismo infectado e, assim, propicia a transmissão. A Figura 4.20 mostra esquematicamente as várias modalidades de transmissão via contaminação ambiental.

Transmissão via Ponte Biológica – agentes que desenvolveram a capacidade de ultrapassar o meio externo, associando-se a pelo menos um outro organismo interposto entre a fonte e o suscetível, denominado vetor biológico. Entre essas duas populações há pelo menos uma outra, cuja presença assume caráter de obrigatoriedade neste tipo de transmissão, constituindo verdadeira “ponte biológica”.

Figura 4.20 - Modalidades de transmissão via contaminação ambiental
Fonte: Forattini (1980).

A epidemiologia da contaminação ambiental mostra que a água não é a única via de transmissão de doenças, outras vias precisam ser avaliadas, pois o ambiente tem importante papel na transmissão das doenças. Neste caso, conhecer o tipo de agente microbiológico –bactéria, vírus, protozoário ou helminto – ou a patologia ligada a ele, talvez não constitua base suficiente para serem propostas eficazes medidas de prevenção; para tanto, é preciso conhecer, também, as vias predominantes usadas pelo agente na transmissão das doenças.

4.17.4 Classificação das infecções relacionadas à água

A partir da década de 70 começaram a ser estudadas as doenças infecciosas sob o enfoque das estratégias mais adequadas para seu controle e sua relação com o ambiente (HELLER, 1997).

O Prof. David Bradley ao invés de classificar os organismos patogênicos como: vírus, bactérias, protozoários e helmintos – organizou as infecções em categorias ambientais (WHITE et al., 1972). Esta classificação considerou o papel da água na transmissão de microrganismos patogênicos e descreveu dois mecanismos para eliminar a transmissão desses agentes: o primeiro, através de melhorias na qualidade da água; o segundo, ligado à disponibilidade da água para higiene pessoal e doméstica. Foram então propostas duas categorias de doenças: a primeira, de transmissão hídrica e a segunda cuja transmissão era devida à falta de água para

higiene pessoal e doméstica. O modelo foi completado por duas outras categorias cuja transmissão estava baseada na água, que incluía as parasitoses, e uma quarta categoria em que a água proporcionava um meio no qual se multiplicavam os vetores responsáveis pela transmissão de doenças, tais como dengue e malária.

Bradley demonstrou que as duas primeiras categorias constituíam a esmagadora maioria, cerca de 90% de todas as doenças infecciosas ligadas à água, quer do ponto de vista de mortalidade, quer de casos atendidos em unidades de saúde. Essas doenças, em sua grande maioria, são constituídas por diarreias em crianças com menos de dois anos de idade (FEACHEM, 1983b).

As quatro vias de transmissão relacionadas à água foram assim descritas:

- **Transmissão hídrica** – também conhecida com rota de veiculação hídrica – a transmissão de doenças veiculadas pela água ocorre quando o agente patogênico está presente na água que é ingerida por pessoa ou animal que podem ser infectados. As doenças de veiculação hídrica potencialmente incluem as infecções clássicas como cólera e febre tifóide e, também, outras doenças, como hepatite infecciosa e disenteria. O termo doença de veiculação hídrica tem sido utilizado erroneamente como sinônimo de doenças relacionadas à água. Feachem (1983b) sugere usar o termo veiculação hídrica somente para a via de transmissão hídrica. Outra fonte de mal entendido tem sido supor que a transmissão de uma doença de veiculação hídrica, ocorre exclusivamente pelo abastecimento de água. A preocupação com a transmissão estritamente de veiculação hídrica tem sua origem nas epidemias do cólera e febre tifóide, que ocorreram em algumas cidades da Europa no século XIX e nos primeiros anos do século XX, as quais foram causadas por abastecimentos de água com inadequados tratamentos de água. Todas as doenças ditas de veiculação hídrica também podem ser transmitidas por outras fontes que permitem que matéria fecal alcance a boca do suscetível – rota conhecida como rota de transmissão feco-oral. Assim o cólera pode ser propagado por rotas indiretas feco-oral; por exemplo, alimento contaminado. A Figura 4.21 mostra que a transmissão de doenças de veiculação hídrica é um caso particular de matéria fecal na água para consumo humano, e que, algumas doenças de veiculação hídrica também podem ser transmitidas por outras rotas feco-oral.

Figura 4.21 - Vias de transmissão de doenças feco-oral

Fonte: adaptado de Prüss et al. (2002).

- **Transmissão relacionada com a higiene** – Muitas infecções do trato intestinal e da pele podem ser reduzidas através de melhorias na higiene doméstica e pessoal. Esse tipo de intervenção frequentemente depende da disponibilidade de água e de seu correto uso para a higiene pessoal e doméstica. Elas fundamentalmente dependem da quantidade da água consumida. A importância da água para essas doenças reside no auxílio às ações de higiene e limpeza, e a qualidade da água tem relativa importância para este fim. Uma doença é dita relacionada com a higiene se a sua transmissão for reduzida quando houver aumento de disponibilidade de água usada para fins higiênicos. As doenças baseadas na água são classificadas em três tipos de infecções:

- Primeiro, são infecções do trato intestinal, tais como as doenças diarreicas, que são importantes causas de doenças e morte, especialmente entre jovens crianças de países pobres. São exemplos o cólera, a disenteria bacilar e outras doenças tradicionalmente mencionadas como doenças de veiculação hídrica. Essas doenças são

de transmissão feco-oral e podem ser de veiculação hídrica ou relacionadas com a higiene. Uma doença feco-oral é causada por agentes patogênicos eliminados pelas fezes de uma pessoa infectada e ingeridos por um suscetível; a doença feco-oral pode ser transmitida por uma rota de veiculação hídrica ou por várias outras rotas feco-oral, na qual está presente a rota relacionada com a higiene.

- O segundo tipo de infecções relacionadas com higiene são aquelas relacionadas à pele ou olhos. Septicemia bacteriana da pele, escabiose e infecções fúngicas da pele são extremamente prevalentes em muitos países de clima quente, nos quais as infecções nos olhos, como tracoma, são também comuns e podem levar à cegueira. Essas infecções estão relacionadas à falta de higiene e, portanto, podem ser prevenidas com o aumento do volume de água necessário para a higiene pessoal e doméstica. Contudo, elas são completamente distintas das infecções intestinais baseadas na água porque elas não são feco-oral e não são veiculadas pela água. Elas se relacionam principalmente com a quantidade de água.
 - O terceiro tipo de infecção baseada na água também não é feco-oral, nem é veiculada pela água. Essas infecções são transmitidas por piolhos e ácaros e podem ser reduzidas pela melhoria da higiene pessoal, que promove a redução da probabilidade de infestação de roupas e de seres humanos por esses artrópodes. Epidemias de tifo e febre veiculadas por piolhos são afetadas pela melhoria na higiene pessoal. Elas são transmitidas pelo piolho que não pode persistir em pessoas que regularmente tomam banho e têm suas roupas íntimas lavadas com frequência.
- **Transmissão baseada na água** – Uma doença é dita baseada na água quando o agente patogênico tem parte de seu ciclo de vida em um caracol ou outro animal aquático. Todas as doenças baseadas na água são provocadas por um verme parasita (helminto) que depende de um hospedeiro intermediário para completar seu ciclo de vida. O grau da doença depende do número de vermes adultos que afetam o paciente e a importância desta doença é avaliada em função da

intensidade da infecção e do número de pessoas infectadas – a esquistossomose é o exemplo clássico desta doença.

- **Transmissão por um inseto vetor** - a quarta via é aquela em que a transmissão é feita por insetos que são procriados na água – malária, febre amarela e dengue, são exemplos de doenças transmitidas por insetos que procriam na água.

O Quadro 4.18 mostra a classificação proposta por Bradley para as infecções hídricas e as estratégias mais eficazes para a prevenção de cada uma das categorias de transmissão propostas (FEACHEM, 1983b).

Quadro 4.18 - Estratégias de prevenção apropriadas para cada via de transmissão.

Via de transmissão	Estratégia preventiva
Hídrica	Melhorar a qualidade da água para consumo humano. Prevenir uso casual de outros mananciais inadequados.
Relacionadas com a higiene	Aumentar uso da água Melhorar o acesso e a disponibilidade do abastecimento doméstico de água. Melhorar hábitos higiênicos
Baseada na água	Diminuir a necessidade de contato com água infectada.* Controlar a população de caracóis* Reduzir a contaminação de água superficial por excretas**.
Por um inseto vetor	Melhorar a gestão da água superficial Destruir criadouros de insetos Diminuir a necessidade de visitar locais de procriação de insetos Usar tela mosquiteira

Fonte: adaptado de Feachem (1983b).

* Aplicado à esquistossomose apenas

** As estratégias preventivas apropriadas dependem de ser determinado o ciclo de vida de todos os vermes que tem parte de seu ciclo de vida ligado a água.

A classificação inicial proposta por Bradley foi posteriormente revisada para adequar as doenças às categorias que melhor representassem o impacto de intervenções específicas de melhoria do uso da água na saúde da população. Assim, todas as infecções do tipo feco-oral de transmissão hídrica e relacionadas com a higiene foram agrupadas em uma única categoria. A segunda categoria foi reservada

para as infecções que são devidas exclusivamente à insuficiente quantidade de água; são compostas pelas infecções de pele e olhos e pelas doenças associadas à infestações por piolhos. O Quadro 4.19 apresenta a classificação proposta, as mais frequentes infecções associadas à água e identifica o tipo de organismo patogênico de cada infecção.

Quadro 4.19 - Classificação ambiental das infecções relacionadas com a água.

Categoria	Infecção	Agente Patogênico
FECO-ORAL (transmissão hídrica ou relacionada com a higiene)	Diarréia ou disenteria Disenteria amebiana Balantidíase Enterite por <i>Campylobacter</i> Cólera Diarréia por <i>E. coli</i> Giardíase Diarréia por rotavírus Salmoneloses Shigeloses (disenteria bacilar) Yersiniose Febres entéricas Tifóide Paratifóide Poliomielite Hepatite A Leptospirose Ascaridíase Tricuríase	Protozoário Protozoário Bactéria Bactéria Bactéria Protozoário Vírus Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Vírus Vírus Espiroqueta Helmintos Helmintos
RELACIONADA COM A HIGIENE a. Infecções da pele e olhos	Doenças infecciosas da pele Doenças infecciosas dos olhos	Miscelânea Miscelânea
b. Outras	Tifo veiculado por piolho (Rickettsioses) Febre relacionada com piolho	Rickettsias Spiroquetas
BASEADA NA ÁGUA a. Penetração pela pele	Esquistossomíase	
b. Por ingestão	Clonorquíase Faciolíase Paragonimíase Outras	Helmintos
TRANSMISSÃO POR INSETO VETOR a. Picadura próximo à água	Filaríase Malária	Helminto Protozoário
b. Procriam na água	Viroses transmitidas por mosquito Febre amarela Dengue	Vírus Vírus

Fonte: adaptado de Feachem (1983b) e Heller (1997).

Análoga à classificação ambiental das infecções relacionadas à água foi desenvolvida uma classificação para as excretas. Contudo, as infecções relacionadas às excretas são mais difíceis de serem classificadas que as infecções associadas à água. Uma doença relacionada às excretas está unicamente relacionada às excretas humanas – urina e fezes – e, desta forma, foram descritos dois mecanismos de transmissão indicados no Quadro 4.20.

Quadro 4.20 - Mecanismos de transmissão das doenças relacionadas com as excretas

Tipo de Transmissão	Forma de transmissão
via excreta infectada	O agente patogênico está livre no ambiente e presente nas fezes ou urina de indivíduos infectados.
por um inseto vetor	Por inseto que visita excreta para procriar, ou pode mecanicamente carrear agentes patogênicos para o alimento ou um vetor inseto de um agente patogênico

Fonte: adaptado de Feachem (1983b).

A maioria das infecções relacionadas às excretas é propagada pela urina e fezes de um indivíduo infectado. A Filariase bancrofti é exceção, pois em algumas partes do mundo é transmitida por numerosas espécies de mosquitos, das quais as mais importantes são *Culex fatigans*, *Culex pipiens*, *Aedes polynesiensis* e, principalmente, *Culex quinquefasciatus* que prolifera no esgoto ou em águas altamente poluídas. Existem algumas evidências que outros mosquitos, por exemplo, *Anopheles sp.* e *Aedes aegypti* – estão se adaptando para propagarem-se em águas poluídas de ambientes urbanos onde há pouca disponibilidade de água limpa. Se esta tendência se confirmar convém lembrar que será necessário adicionar também malária, febre amarela e filariase como infecções relacionadas às excretas, mas que não são excretadas. Contudo, todas as infecções relacionadas às excretas são também relacionadas à água exceto ancilóstomos, estrogiloides, e tênias. Várias infecções relacionadas à água não estão relacionadas às excretas, por exemplo, infecções da pele, tracoma e malária.

Coube a Feachem et al., (1983a) revisarem os estudos anteriores e proporem uma única classificação para as infecções relacionadas à água e às excretas. Nesta nova classificação as doenças foram agrupadas em seis categorias como mostra o Quadro 4.21.

Quadro 4.21 - Classificação Ambiental das infecções relacionadas com as excretas

Categoria	Infecção	Agente Patogénico	Via de transmissão Predominante	Maiores medidas de controle
Feco-orais não-bacteriana Não-latentes, baixa dose infecciosa	Poliomielite Hepatite A Diarréia por Rotavírus Disenteria Amebiana Giardíase Balantídiase Enterobiase	Vírus Vírus Vírus Protozoário Protozoário Protozoário Helminto	Contato pessoa a pessoa Contaminação doméstica	Abastecimento de água doméstico Melhoria nas habitações Fornecimento de banheiros Educação em Saúde
Feco-orais bacterianas Não-latentes, dose infecciosa média ou alta, moderadamente persistentes e capazes de se multiplicarem	Diarréia ou disenteria Diarréia causada por <i>Campylobacter</i> Cólera Diarréia por <i>Escherichia coli</i> Salmoneloses Shigelose Yersiniose Febres entéricas Tifóide Paratífóide	Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria Bactéria	Contato pessoa a pessoa Contaminação doméstica Contaminação da água Contaminação por alimentos	Abastecimento de água doméstico Melhoria nas habitações Fornecimento de banheiros Tratamento das excretas prioritário para o reuso ou disposição adequada Educação em Saúde
Helmintos do solo Latentes, persistentes sem hospedeiro intermediário	Ascariíase Tricuriase Ancilostomíase Estrongiloidíase	Helminto Helminto Helminto Helminto	Contaminação do quintal Contaminação no solo em áreas de defecação comunitária Contaminação da colheita	Fornecimento de banheiros com piso limpo Tratamento de excretas prioritário para aplicação no solo
Teníases Latentes, persistentes com hospedeiro intermediário (vaca ou porco)	Teníases	Vírus	Contaminação do quintal Contaminação no campo Contaminação de forragens	Fornecimento de banheiros Tratamento de excretas prioritária para aplicação no solo Cozimento e inspeção de carnes
Helmintos hídricos Latentes, persistentes com hospedeiros intermediários	Esquistossomose Clonorchíase Difilobotríase Fasciolíase Paragonimíase	Vírus Vírus Vírus Vírus Vírus	Contaminação da água	Fornecimento de banheiro Tratamento de excretas prioritária para descarga Controle de animais que abrigam a infecção Cozimento
Doenças transmitidas por insetos Insetos vetores relacionados com as excretas	Filariasis (transmitida pelo <i>Culex pipiens</i>) Infecções das Categorias I-V, especialmente I e II, que podem ser transmitidas por moscas e baratas.	Helminto Vários	Criação de insetos nos vários locais contaminados com fezes	Identificação e eliminação de locais de criação Uso de telas mosquiteiras

Fonte: adaptado de Feachem (1983a).

Esta classificação foi um avanço em relação às anteriores que separavam as doenças relacionadas à água das relacionadas às excretas. Como as doenças tanto podem estar associadas à água como às excretas, a implantação integrada e a correta manutenção e operação dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, a longo prazo, constituem a melhor forma para seu controle.

Feachem et al., (1983a) descreveram as categorias das doenças relacionadas às excretas das seguintes categorias:

- Doenças feco-orais não bacterianas – as melhorias na disposição das excretas têm diferentes impactos sobre as doenças feco-orais. Algumas dessas infecções, causadas por vírus, protozoários e helmintos, podem ser facilmente transmitidas pessoa-a-pessoa sempre que as condições de higiene doméstica e pessoal não forem ideais. As alterações nos métodos de disposição das excretas têm pouco efeito na incidência dessas doenças, exceto se acompanhadas por mudanças na higiene pessoal e doméstica – ações que dependem de melhorias no abastecimento de água e das habitações. Portanto, o controle destas doenças exige que sejam priorizadas ações de educação em saúde.
- Doenças feco-orais bacterianas – Para as doenças feco-oral causadas por bactérias, a via de transmissão pessoa-a-pessoa é a mais importante, mas há outras vias com probabilidades de transmissão, tais como contaminação de alimentos e fontes de água com material fecal. Alguns dos agentes patogênicos dessa categoria, notadamente *Campylobacter*, *Salmonella* e *Yersinia*, também são eliminados nas fezes de animais e pássaros e, portanto, podem atingir comunidades com elevado padrão sanitário.
- Helmintos do solo – esta categoria contém várias espécies de vermes parasitas cujos ovos são eliminados nas fezes. Eles não são imediatamente infectantes, pois necessitam um período de desenvolvimento em condições favoráveis, usualmente em solos úmidos. Então, eles alcançam seu próximo hospedeiro humano ao ser ingerido, por exemplo, em vegetais ou pela penetração pelo pé. Uma vez que os ovos não são imediatamente infectivos, a higiene pessoal tem pouco efeito em sua transmissão, mas a disposição das fezes em unidades sanitárias adequadas ajuda a evitar a contaminação fecal do piso, quintal ou solo e, desta forma, limita a transmissão. Entretanto, se a unidade sanitária não for mantida em boas

condições de higiene, o piso pode tornar-se contaminado e servir como meio para a transmissão de doenças. Os ovos desses vermes podem sobreviver por meses entre hospedeiros, por isso é essencial que seja feito um adequado tratamento das excretas antes do reuso das excretas no campo.

- Teníases – a tênia da carne de vaca, *Taenia saginata*, e a tênia da carne de porco, *T. Sólón*, vivem como vermes adultos no intestino do homem. Os ovos são eliminados nas fezes humanas e precisam ser ingeridos pelo gado ou porcos – dependendo da espécie – nos quais eles desenvolvem a forma de cistos, geralmente no músculo, e em vários outros sítios. O homem é reinfectado pela ingestão de cistos em carne crua ou mal cozida. A prevenção da transmissão é feita pela disposição das excretas humanas em unidades sanitárias adequadas, nas quais o gado ou os porcos não têm acesso; ou pelo tratamento adequado do esgoto para posterior uso como fertilizante em plantações ou pastagens.
- Helmintos hídricos – todas as doenças baseadas na água são causadas por helmintos os quais são eliminados pelas excretas e precisam passar um estágio de seu ciclo de vida no corpo de um hospedeiro aquático, usualmente um caramujo, para então, reinfectarem o homem através da pele ou quando da ingestão de peixes, caranguejos e camarões mal cozidos. A prevenção baseia-se no uso de apropriados métodos de disposição para controlar e evitar que excretas não tratadas alcancem a água na qual vivem hospedeiros aquáticos. Em todos os casos, exceto *Schistosoma mansoni* e *S. haematobium*, as fezes de animais são fontes de infecção e, portanto, as medidas sanitárias tomadas para controle das excretas humanas podem apresentar resultados parciais. Um ovo pode multiplicar-se no caramujo hospedeiro e produzir milhares de larvas, por isso, para manter a transmissão da doença é suficiente baixo nível de contaminação fecal.
- Doenças transmitidas por insetos – Eles são de dois tipos principais, o primeiro, inclui o grupo de mosquitos *Culex pipiens*, encontrado em quase todo o mundo, ao qual procria em águas altamente poluídas, por exemplo, tanques sépticos e fossas negras sobrecarregadas, e transmitem a Filaríase Bancroftian. No segundo estão as moscas e baratas que procriam nos locais em que as fezes estão expostas. Elas carregam organismos patogênicos em

seu corpo e no trato intestinal. Devido ao seu aspecto desagradável, estes organismos são indesejáveis nas residências; contudo, sua importância na transmissão de agentes patogênicos excretados é incerta.

O impacto potencial dos melhoramentos do saneamento básico e higiene pessoal, em várias categorias das doenças relacionadas com as excretas, está resumida no Quadro 4.22. Para a maioria destas doenças, o melhoramento na disposição das excretas é somente uma das várias medidas necessárias para seu controle: é essencial que pessoas de todas as idades usem banheiros e que eles sejam mantidos sempre limpos. A disposição das excretas das crianças é tão importante quanto a dos adultos. Estudos freqüentemente têm falhado em detectar os efeitos benéficos da melhoria no saneamento porque embora haja presença de banheiros, ou eles não são mantidos limpos, ou não são usados pelas crianças ou pelos adultos.

Quadro 4.22 - Potencial para Controlar as infecções relacionadas às excretas através de melhorias no saneamento e higiene pessoal.

Categoria de doenças	Impacto do saneamento apenas	Impacto da higiene pessoal apenas
Feco-oraís não bacterianas	Pequeno	Grande
Feco-oraís bacterianas	Fraco a moderado	Moderado
Helmintos do solo	Grande	Pequeno
Teníases	Grande	Pequeno
Helmintos hídricos	Moderado	Pequeno
Doenças transmitidas por insetos	Fraco a moderado	Pequeno

Fonte: adaptado de Feachem (1983b).

Entretanto, em projetos com intervenções simultâneas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, o uso das duas classificações pode causar confusão, pois muitas infecções relacionadas à água são associadas às excretas e a maioria das infecções ligadas às excretas está relacionada à água. Por isso, Feachem (1983b) propôs uma nova classificação em que as doenças foram agrupadas conforme a

semelhança de suas características epidemiológicas e de maneira a evidenciar o grau de importância de cada medida de prevenção (abastecimento de água, disposição de excretas ou comportamento higiênico) sobre cada grupo de doenças.

Esta nova classificação denominada agrupou as doenças da seguinte forma:

- Diarréias e febres entéricas;
- Poliomielite e hepatite A;
- Verminoses sem hospedeiros intermediários;
- Verminoses com estágios intermediários em porco ou gado;
- Verminoses com estágios intermediários na água;
- Infecções na pele e olhos e aquelas veiculadas por piolhos;
- Infecções transmitidas por insetos associados com a água.

O Quadro 4.23 apresenta a importância relativa de cada medida de controle em relação às doenças e sua importância para a saúde pública. A seguir é feita uma breve discussão sobre cada grupo desta classificação.

Diarréias e Febres Entéricas

Este é o mais importante grupo de infecções relacionadas à água e às excretas. As doenças diarreicas são causadas por uma variedade de vírus, bactérias e protozoários excretados e estão associadas à transmissão via feco-oral, transmissão hídrica e relacionadas com a higiene. Em condições de extrema pobreza, o modo predominante de transmissão das doenças está ligado à higiene e limpeza - p.e. pessoa-a-pessoa via mãos, alimentos, utensílios etc. Por isso alguns estudos têm mostrado que somente melhorias na qualidade da água não são acompanhadas por redução na incidência de doenças diarreicas – é preciso associar disponibilidade de água e educação em saúde.

Poliomielite e Hepatite A

Poliomielite e Hepatite são infecções diferentes, mas compartilham várias características epidemiológicas em comum:

- A transmissão é feco-oral com baixa dose infectiva;
- A infecção usualmente confere imunidade permanente, e
- A transmissão continua inalterada sob condições de ótimo abastecimento de água, disposição de excretas e higiene.

Quadro 4.23 - Classificação das Infecções relacionadas com a Década Internacional do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário e o impacto das medidas de controle para a saúde pública.

Infecções	Importância das alternativas de medidas de controle							Importância para a Saúde Pública
	Qualidade da Água	Disponibilidade de água	Disposição de excretas	Tratamento de excretas	Higiene Pessoal e doméstica	Disposição de águas servidas	Higiene dos Alimentos	
Diarréicas e febres entéricas								
Agentes virais	2	3	2	1	3	0	2	3
Agentes bacterianos	3	3	2	1	3	0	3	3
Agentes protozoários	1	3	2	1	3	0	2	2
Poliomielite e Hepatite A	1	3	2	1	3	0	1	3
Vermes sem hospedeiros intermediários								
Ascaris e Tricuris	0	1	3	2	1	1	2	2
Ancilóstomo	0	1	3	2	1	0	1	3
Teníase devido ao porco ou gado	0	0	3	3	0	0	3	2
Vermes com estágio intermediário na água								
Esquistossomose	1	1	0	2	1	0	0	0
Verme da Guiné	3	0	3	0	0	0	0	3
Vermes com dois estágios intermediários na água	0	0	2	2	0	0	3	1
Infecções de pele e olhos e veiculadas por piolho	0	3	0	0	3	0	0	2
Infecções propagadas por insetos relacionados com a água								
Malária	0	0	0	0	0	1	0	3
Febre Amarela e Dengue	0	0	0	0	0	1	0	3
Filariase Bancroftian	0	0	3	0	0	3	0	3

Legenda: 0 – não importante
1 – pouca importância
2 – moderada importância
3 – grande importância

Fonte: adaptado de Feachem (1983).

A via de transmissão hídrica ocorre, mas é de limitada importância comparada com a transmissão pessoa-a-pessoa. A prevenção da poliomielite é alcançada pela vacinação, no entanto ainda se espera uma vacina contra a hepatite A. A ausência da vacinação pode favorecer o aparecimento de vários casos de poliomielite.

Vermes sem hospedeiro intermediário

Vários helmintos excretados que infectam o homem não necessariamente possuem hospedeiros intermediários. Os vermes adultos vivem no intestino do homem, e seus ovos ou larvas são eliminados principalmente nas fezes. Os ovos de *Ascaris* e de *Trichuris* precisam permanecer em ambiente adequado por 1,5 a 6 semanas antes de se tornarem infectantes. A reinfecção é, então, oral, pela ingestão de alimentos ou impurezas contaminadas com ovos infectados. Os ovos dos vermes também se desenvolvem em ambientes quentes, solo úmido. Após uma semana, ou mais, são formadas larvas que causam reinfecção pela penetração através de falhas na pele, usualmente pelos pés.

Vermes com estágios intermediários em porcos ou gado

As tênias do gado e do porco (*Taenia saginata* e *T. solium*) são parasitas com ciclos de vida que, teoricamente, são fáceis de serem interrompidos através da gestão correta das fezes humanas. Os vermes adultos vivem somente no intestino do homem e os ovos, contendo segmentos de vermes, são eliminados pelo ânus, usualmente nas fezes. Esses ovos, se ingeridos por boi ou porco (para *T. saginata* e *T. solium*, respectivamente), incubam e formam larvas encistadas nos músculos, língua, fígado ou outros locais. O homem é reinfestado pela ingestão de carne de vaca ou porco, que contenham cistos por terem sido inadequadamente cozidas.

Vermes com hospedeiros intermediários aquáticos

Este grupo de vermes infecta o homem somente após ter passado por um estágio de desenvolvimento em um ou mais hospedeiros aquáticos. Entre essas infecções está a esquistossomose de grande importância para a saúde pública em muitos países, e infecções como clonorchiasis.

As formas de transmissão desses vermes podem ser agrupadas em:

- reinfecções percutâneas;

- reinfecções de transmissão hídrica e,
- reinfecções de peixes ou plantas aquáticas.

Reinfecção percutânea

Esta categoria é representada apenas pela esquistossomose. O controle de resíduos, combinado à redução do contato com a água, com implantação de locais para banho ou lavagem de roupa; manutenção da urina e fezes fora das lagoas canais ou rios; eliminação do caramujo hospedeiro através de meios físicos e químicos, além do tratamento de toda a comunidade, são as principais medidas para prevenir a excreção de ovos viáveis. A transmissão hídrica também pode ocorrer, porém é de pouca importância. O controle da esquistossomose é um complexo problema sanitário, motivo pelo qual, simples projetos de água e esgoto não devem ter impacto significativo. No caso de a esquistossomose ser a infecção-alvo para um específico projeto de água e esgoto, é preciso ser desenvolvida uma estratégia que incorpore outros métodos de controle – como quimioterapia e controle do caramujo – baseado em detalhado conhecimento da ecologia parasito-hospedeiro para aquele local determinado.

Reinfecção veiculada pela água

O verme da guiné, *Dracunculus medinensis* possui um hospedeiro intermediário aquático, porém a reinfecção é sempre e somente por transmissão hídrica. Os vermes fêmeas amadurecem na profundidade dos tecidos e depois migram para se alojarem subcutaneamente em um membro. Numerosas larvas se desenvolvem dentro do corpo da fêmea e induzem o surgimento de uma vesícula na pele, a qual se rompe e solta as larvas sempre que o verme sente a presença da água. O ciclo de vida das larvas continua caso elas alcancem água com crustáceos (copépode) do gênero *Cyclops* que delas se alimentam. O desenvolvimento do terceiro estágio da larva tem lugar no corpo do copépode e poderão infectar o homem. O verme da guiné é responsável por infecção relacionada à água, denominada Dracontíase que pode ser erradicada com simples melhoramento do abastecimento de água. Medidas, como por exemplo, a construção de um parapeito em torno do poço que impossibilite a entrada de larvas seja em poços ou em outros mananciais; ou medidas para

remover copépodes da água – como filtração lenta em areia – impedirão a transmissão do verme da guiné.

Reinfecção veiculada por alimentos

Algumas variedades de vermes, principalmente os trematóides, têm dois estágios intermediários aquáticos, o segundo deles envolve diretamente o homem que, conseqüentemente pode ser infectado. Todas elas são zoonoses para as quais o homem é apenas um dos hospedeiros definitivos. Os ovos são eliminados pelas fezes humanas, portanto, excelentes condições sanitárias não são suficientes para evitar a transmissão. A prevenção depende primeiramente da higiene dos alimentos. Em áreas nas quais a transmissão está relacionada à prática do uso de excretas humanas como fertilizante em lagoas com plantas aquáticas ou lagoas de peixes – por exemplo, a fertilização de lagoas de carpas promove a transmissão da Clonorquíase – pode ser esperada redução substancial da transmissão através de melhorias no tratamento das excretas antes da disposição em corpos de água.

Infecções relacionadas com a pele, olhos e veiculadas por piolhos

Este grupo é composto por infecções que não estão relacionadas às excretas e nem são veiculados pela água, mas são transmitidas em situações de inadequada higiene pessoal. São comuns infecções fúngicas superficiais associadas a vários tipos de septicemia da pele e úlcera de origem bacteriana; em algumas regiões a prevalência da escabiose atinge mais de 50 por cento das crianças em idade escolar e os abrigos na pele feitos pelos ácaros são infectados por bactérias. A transmissão dessas infecções da pele acontece com contato íntimo – pele com pele, via roupas de vestir ou pela roupa de cama.

As infecções dos olhos são grande problema de saúde pública em quase todos os países em desenvolvimento; a mais importante delas é o Tracoma – particularmente prevalente em áreas áridas. O Tracoma freqüentemente leva à perda progressiva da visão e algumas vezes à cegueira. Várias formas de conjuntivites, especialmente as bacterianas agudas, também são comuns, porém sem graves conseqüências clínicas. A transmissão é direta, olho-a-olho através do contato dos dedos que transferem a carga infectiva e, também através de roupas ou de moscas.

O tifo exantemático epidêmico, ou tifo transmitido por piolho, é uma doença severa, causada pela *Rickettsias prowazekii* e transmitida homem a homem pelo piolho da espécie *Pediculus humanus humanus*. Ele ocorre em epidemias periódicas através do mundo, especialmente entre as comunidades pobres, e em locais em que o clima frio ou a altitude compelem as pessoas a vestirem roupas que raramente são lavadas. O risco de surto dessa infecção é reduzido quando é pequeno o nível de infestação por piolhos na comunidade; redução que é facilmente obtida com a melhoria da higiene corpórea (banhos) e da lavagem das roupas.

Infecção transmitida por insetos associados à água

Este grande grupo, de alta importância para a saúde pública, é composto por infecções transmitidas por moscas ou mosquitos que procriam na água e atacam pessoas que transitam próximas às coleções de água. Neste grupo quatro infecções merecem destaque: malária, febre amarela, dengue e filaríase *bancroftian*. A malária é uma das mais graves e difundidas doenças de nosso tempo. Ela é causada pelos protozoários *Plasmodium vivax*, *P. malariae*, *P. falciparum* e *P. ovale* e é transmitida por várias espécies de mosquito *Anopheles*. A redução dos sítios de procriação do *Anopheles* requer detalhado conhecimento da ecologia da principal espécie do vetor existente em determinado local. Os projetos de abastecimento doméstico de água têm baixa capacidade para reduzir o número de lugares que servem de criadouros. Em algumas áreas áridas, a transmissão da malária é sazonal e ocorre somente quando as chuvas formam locais adequados para a procriação. Nessas áreas, um abastecimento de água composto por tanques, cisternas ou poços sem proteção pode estender o período de transmissão da malária durante a estação seca. A febre amarela e a dengue são analisadas em conjunto por serem causadas por vírus transmitidos, principalmente em áreas urbanas, de homem para homem pelo mosquito *Aedes aegypti*. O *Aedes aegypti* é um mosquito doméstico que procria em quase toda pequena coleção de água de chuva ou depósitos de água limpa. Os locais favoritos incluem jarros, tubulações, calhas, cisternas e pneus de automóveis. Um sistema de abastecimento de água contínuo – que elimine a necessidade de armazenamento, aliado aos sistemas de drenagem urbana e de coleta, bem como afastamento e disposição de excretas – podem reduzir os sítios de procriação desses insetos, embora não afetem os locais em que são depositadas e águas de chuva. A Filaríase Bancroftian é uma infecção veiculada por mosquito cuja transmissão pode ser

reduzida por meio do abastecimento de água e esgotamento sanitário. Na costa este da África, no nordeste da África, no meio este da Ásia e América Latina ela é transmitida principalmente por mosquitos *Culex pipiens* e particularmente pelo *Culex quinquefasciatus*. Esse mosquito é um dos maiores incômodos noturnos em muitas cidades tropicais e podem ser procriados em águas altamente poluídas. Quando a vazão de água distribuída em uma cidade aumenta sem que haja aumento simultâneo de adequado esgotamento sanitário, drenagem e sistema de disposição das águas servidas são criados muitos locais com água estagnada e poluída. Os tanques sépticos, fossas negras e fossas extravasadas tendem a proliferar em cidades tropicais com rápido crescimento. Essa situação propicia a criação de locais adequados à formação de criadouros para o *Culex quinquefasciatus*, com conseqüente aumento da população de insetos. Este incremento pode levar ao aumento da transmissão da *Wuchereria bancrofti* resultando aumento da prevalência e da gravidade da infecção, as quais começam a surgir - com freqüência e em grupos de menor idade - casos com conseqüências clínicas graves (elefantíase e hidrocele).

O Quadro 4.23 apresentou as infecções relacionadas ao abastecimento de água, esgotamento sanitário e educação em saúde; a soma dos valores de cada coluna serve como orientador, embora grosseiro, da importância relativa de cada medida preventiva considerada. O somatório dos valores encontrados nas colunas permite verificar quais medidas de controle têm maior impacto sobre o conjunto de doenças estudadas:

– Disposição das excretas	25
– Disponibilidade de água	18
– Higiene doméstica e pessoal	18
– Higiene dos alimentos	17
– Tratamento das excretas	15
– Qualidade da água	11
– Disposição e drenagem de águas servidas	6

A última coluna do Quadro 4.23 classifica, por importância, as infecções em relação à saúde pública. Uma relação mais significativa da importância entre as medidas de controle consideradas é obtida pela soma dos produtos dos valores de cada infecção pelo valor da importância para a saúde pública; esse procedimento leva a mesma classificação relativa de importância que é mostrada acima.

Entretanto algumas considerações precisam ser feitas quanto à priorização das medidas preventivas:

- O fato de vários elementos atuarem na transmissão das doenças – principalmente as de origem feco-oral - conforme mostra a Figura 4.21 – pode indicar que o uso de uma única intervenção para romper a transmissão de uma doença resulte em insignificante impacto sobre a saúde da população. Esta situação ocorre com frequência em comunidades com grande quantidade de agentes patogênicos circulando no ambiente; por exemplo, em áreas nas quais a comunidade tenha baixa cobertura de esgotamento sanitário, água para consumo humano contaminada com fezes, coleta irregular de resíduos sólidos e inadequadas práticas de higiene. Nestas condições é necessário considerar as intervenções – abastecimento de água segura, esgotamento sanitário adequado e demais medidas – como partes inter-relacionadas de uma rede causal, de tal forma que a eliminação de uma única via de transmissão não produzirá efeito algum sobre a carga total de doenças; contudo, em outras circunstâncias, tal intervenção pode promover alguma resposta adequada. Entretanto, é importante remover as vias básicas de transmissão, com fornecimento de água segura para consumo humano e implantação adequada de esgotamento sanitário, pois estas intervenções constituem pré-requisitos para sucesso das ações subseqüentes para reduzir a carga de doenças.
- Segundo Cairncross et al. (2003), os benefícios à saúde da população dos projetos de melhorias das condições de abastecimento de água e esgotamento sanitários serão maiores quando uma ou mais das seguintes condições forem atendidas:
 - Eles fornecerem água potável em cada residência;

- O antigo manancial de água estiver mais de um quilômetro das residências;
 - A implantação das soluções de esgotamento sanitário ocorrer em áreas densamente povoadas;
 - As soluções de esgotamento sanitário atingir toda a comunidade;
- As instalações de água e esgoto forem utilizadas por todos e especialmente as crianças;
- A implantação das melhorias no abastecimento de água e no esgotamento sanitário for acompanhada por melhorias nas práticas de higiene pessoal.
- Frequentemente, gerir ações relativas ao abastecimento de água e esgotamento sanitário envolve gerenciar os recursos hídricos de uma comunidade, incluindo o controle de insetos vetores de doenças e de helmintos veiculados pelo solo. O acesso ao seguro abastecimento de água tem impacto significativo na exposição à agentes de algumas doenças baseadas na água, como esquistossomose e de doenças veiculadas por vetores, como o tracoma.
- A solução para o problema da disposição das excretas depende da disponibilidade de abastecimento de água. Quando não se dispõe de abastecimento de água, via rede de distribuição, as soluções para a disposição das excretas são conhecidas como sistemas estáticos, isto é sem o transporte hídrico, e têm sua aplicação em zonas rurais nas quais a disponibilidade de água é escassa ou ela é de difícil obtenção. Quando existe disponibilidade de abastecimento de água, geralmente, através de rede de distribuição, o sistema é chamado dinâmico, pois ocorre o transporte hídrico das excretas pelas tubulações; essa é a solução utilizada em áreas urbanas. O Quadro 24 compara várias tecnologias para disposição de esgotos domésticos. Algumas necessitam pouca ou nenhuma água para sua operação e são aplicáveis em áreas de baixas densidades, portanto são adequadas para a zona rural. Para áreas de média a elevadas densidades, as tecnologias requerem água, pelo menos em local próximo.

Quadro 4.24 - Comparação entre as tecnologias para esgotamento sanitário.

Tecnologia de Esgotamento Sanitário	Aplicação Rural	Aplicação Urbana	Custos de Construção	Custos com Operação	Facilidade de construção	Necessidade de Água	Condições necessárias do solo	Benefícios a saúde	Necessidades Institucionais
Fossa Seca ventilada de câmara simples ou geminada ou Fossa Seca tipo Reed	Adequada	Adequada para áreas com baixa e média densidade	Baixo	Baixo	Muito fácil exceto em terrenos alagadiços ou com presença de rocha	Nenhuma	Permeável, estável e lençol freático a pelo menos 1 metro abaixo da superfície	Bom	Baixa
Fossa Seca com privada de descarga fraca	Adequada	Adequada para áreas com baixa e média densidade	Baixo	Baixo	Fácil	Água próxima do banheiro	Permeável, estável e lençol freático a pelo menos 1 metro abaixo da superfície	Muito Bom	Baixa
Privada de compostagem com câmaras geminadas	Adequada	Adequada para áreas com baixa e média densidade	Médio	Baixo	Muito fácil exceto em terrenos alagadiços ou com presença de rocha	Nenhuma	Nenhuma (pode ser construída ao nível do solo)	Bom	Baixa
Tanque séptico	Adequada para habitações rurais	Adequada para áreas com baixa e média densidade	Alto	Alto	Requer trabalho especializado	Água distribuída via rede para a residência e banheiro	Permeável, estável e lençol freático a pelo menos 1 metro abaixo da superfície	Muito Bom	Baixa
Tanque Séptico de múltiplos estágios	Adequada	Adequada para áreas com baixa e média densidade	Médio	Baixo	Requer trabalho especializado	Água próxima do banheiro	Permeável, estável e lençol freático a pelo menos 1 metro abaixo da superfície	Muito Bom	Baixa
Tanque coletor e remoção a vácuo por caminhão-tanque	Inadequado	Adequado	Médio	Alto	Requer trabalho especializado	Água próxima do banheiro	Nenhuma (pode ser construída ao nível do solo)	Muito Bom	Muito Alta
Rede coletora associada a tanque séptico e privada de descarga fraca	Inadequado	Adequado	Alto	Médio	Requer Trabalho Especializado: Engenheiro / construtor	Água distribuída via rede para a residência	Nenhuma	Muito Bom	Alta
Rede coletora convencional	Inadequado	Adequado	Muito Alto	Médio	Requer Trabalho Especializado: Engenheiro / construtor	Água distribuída via rede para a residência e banheiro	Nenhuma	Muito Bom	Alta

Fonte: adaptado de Kalbermaten et al. (1980).

- A dependência entre abastecimento de água, ou o nível de serviço de água, e adoção de tecnologia para a disposição de esgotos domésticos podem ser mais bem entendida quando for utilizado o conceito de Tecnologias Apropriadas para a solução da disposição das excretas. Segundo Rossim e Oliveira Santos (1994), tecnologia apropriada é definida como método ou técnica que fornece projeto com nível ou qualidade social e ambientalmente aceitável, com todos os benefícios à saúde e com menores custos econômicos. A Figura 4.22 mostra uma provável seqüência para a disposição de excretas utilizando esta metodologia; é possível observar que as soluções a serem adotadas para o esgotamento sanitário dependem da quantidade de água disponibilizada à população.
- Apesar do reconhecimento da importância da quantidade da água para a saúde humana, as diretrizes e normas internacionais não fornecem as quantidades mínimas de água necessárias para manutenção e melhoria da qualidade de vida das populações. Inicialmente é importante distinguir: qual a quantidade de água necessária para propósitos domésticos, que tenha grande influência sobre a saúde e produtividade humana; e quantidade de água necessária para outros usos, tais como agricultura, indústria, comércio, transporte, energia e recreação. Geralmente a quantidade de água necessária para uso doméstico é muito menor do que a quantidade de água para os demais usos. White et al. (1972) descreveram três tipos de usos que poderiam ser considerados de uso doméstico: consumo (beber e cozinhar), higiene (incluindo necessidades básicas para limpeza pessoal e doméstica) e demais usos (por exemplo, lavagem de carro, irrigação de gramado). Com base em estimativa da quantidade de água usada por mulheres em aleitamento que realizam atividades físicas moderadas, em temperaturas acima da média, a quantidade mínima de água necessária deverá ser 7,5 litros per capita por dia. Esta quota atenderá às necessidades de hidratação da maioria das pessoas do mundo.

Figura 4.22 - Fluxograma para disposição dos esgotos domésticos segundo o conceito de Tecnologia Apropriada.
Fonte: adaptado de Kalbermatten et al. (1980).

Quadro 4.25 - Nível de serviço de água e requisitos para promover a saúde.

Nível de Acesso	Acesso	Atendimento de Necessidades	Risco à saúde
NENHUM ACESSO Quantidade diária de água consumida frequentemente é inferior a 5 litros por habitante.	Mais de 1.000 metros ou 30 minutos de tempo total de coleta e transporte de água	CONSUMO: não pode ser garantido HIGIENE: não é possível (a menos que praticada na fonte.	MUITO ALTO
ACESSO BÁSICO Quantidade diária de água consumida excede a 20 litros por habitante.	Entre 100 e 1.000 metros ou de 5 a 30 minutos de tempo total de coleta e transporte de água	CONSUMO: pode ser garantido HIGIENE: lavagem das mãos e possível higiene básica de alimentos, lavagem de roupa e banho difícil de ser garantida a menos que feita na fonte.	ALTO
ACESSO INTERMEDIÁRIO Quantidade diária de água consumida de 50 litros por habitante	Água distribuída através de uma torneira coletiva ou a menos de 100 metros ou 5 minutos de tempo total de coleta e transporte de água	CONSUMO: garantido HIGIENE: toda a higiene básica pessoal e higiene dos alimentos garantida; lavagem de roupa e banho deveria também ser garantida.	BAIXO
ACESSO ÓTIMO Quantidade diária de água consumida excede 100 litros por habitante.	Água distribuída através de múltiplas torneiras e feita de maneira contínua.	CONSUMO: todas as necessidades atendidas HIGIENE: todas as necessidades atendidas.	MUITO BAIXO

Fonte: adaptado de Howard e Bartram (2003).

- As necessidades básicas de água para a higiene pessoal são de difícil determinação, pois o volume usado nas residências depende da acessibilidade à fonte e são calculados a partir da: distância e tempo para a coleta e transporte da água da fonte à residência, confiabilidade e custo para sua obtenção. A acessibilidade pode ser classificada conforme o nível de serviço. O Quadro 4.25 mostra um resumo da classificação dos níveis de diferentes serviços que poderão atender às exigências de manutenção da saúde e, também, as intervenções necessárias para maximizar ganhos para a saúde.

- Segundo Esrey et al., 1991, a melhoria do acesso à água segura promove aumento da quantidade de água usada na residência. Esta hipótese foi verificada em vários estudos realizados na África por CAIRNCROSS (1990), CAIRNCROSS e FEACHEM (1983b), WELL (1998) e AIGA e UMENAI (2002). CAIRNCROSS (1987), demonstraram que o consumo de água em uma vila em Moçambique com uma fonte localizada a 15 minutos foi de 12,3 litros per capita por dia; e de 3,24 litros per capita por dia em outra vila na qual a coleta demandava 5 horas – o excesso de água foi usado principalmente para higiene doméstica e pessoal. O autor observou que a diferença de tempo exerce influência sobre a quantidade de água somente quando se tem elevadas diferenças entre os tempos de coleta, entre efetivamente nenhum acesso a um nível de serviço (consumo per capita de 3,24 L/hab) e um nível básico de serviço (12,3 L/hab). CAIRNCROSS (1987) propõe um modelo para compreensão do papel da acessibilidade e o volume de água que é mostrado na Figura 4.23. Se o tempo necessário para transporte e coleta de água exceder alguns minutos (cerca de 5 minutos ou 100 metros da residência), a quantidade de água utilizada decresce significativamente. Este gráfico tem um platô de consumo bem definido, dentro dos limites de 5 a 30 minutos de transporte e coleta de água ou de cerca de 100 a 1000 metros de distância entre a residência e a fonte de água. Nesta faixa há pouca variação na quantidade de água usada. Além de 30 minutos de tempo de transporte e coleta, as quantidades de água utilizadas diminuem próximo ao nível necessário apenas à hidratação (cerca de 7,5 L/hab/dia). A distribuição de água através de pelo menos uma torneira por residência favorece aumento no consumo de água, volume que é ultrapassado apenas quando há rede de distribuição de água e atendimento domiciliar via torneiras múltiplas.

- Um estudo desenvolvido em Jinja, Uganda (Tibatema et al., 2003) ilustra os consumos de água nos vários níveis de serviços de água e que pode ser visto no Quadro 4.26. O consumo médio de água distribuída via rede é relativamente alto - cerca de 160 L/hab/dia - mas diminui para 50 L/hab/dia quando o abastecimento é promovido através de uma simples torneira. Quando o manancial de água está localizado fora da residência o consumo diminui ainda mais abruptamente para um terço da média do consumo de uma torneira única e a um décimo para residências com água atendidas via ligação domiciliar. Portanto, em programas

de abastecimento às comunidades carentes a primeira prioridade é assegurar que em todas as residências seja atingido o platô indicado na Figura 4.23, ou seja, garantir que todos os residentes tenham acesso a água num raio de um quilômetro. Não deve ser esperado que haja aumento significativo no consumo de água até que seja atingido o nível de acesso ótimo indicado no Quadro 4.25. Mesmo com uma única torneira o consumo deverá se manter baixo, pois este nível de serviço não permite o uso de dispositivos que consomem água e os esforços necessários para sua coleta permanecem alto o suficiente para limitar o seu uso em quantidade maior. Uma vez que nas residências o abastecimento de água seja realizado por múltiplas torneiras, há significativa variação no uso de volumes de água, por conta de mais dispositivos que consomem água e economizam tempo e esforço físico para sua obtenção. Deve-se observar que os benefícios em cada nível de serviço somente serão atingidos se a água usada apresentar risco tolerável para a saúde e se a água for efetivamente usada para a higiene pessoal e doméstica.

Figura 4.23 - Tempo de coleta e transporte da água em relação ao consumo de água.

Fonte: adaptado de WELL (1998).

- O impacto das tarifas de água no consumo das populações de baixa renda é pouco estudado. CAIRNCROSS e KINNEAR (1993) estudaram o impacto das tarifas de água no consumo das populações de baixa renda em bairros pobres de Cartum, Sudão. Nesses bairros vendedores ambulantes comercializavam água cujos preços variavam em função da distância que tinham que transportá-la. Os

resultados indicaram que o consumo de água em cada bairro pobre era quase independente da renda da família e, portanto, custava aos mais pobres porção maior de sua renda mensal. Considerando, também, que as famílias mais pobres de Cartum gastavam 90% da sua renda em comida, ficou claro que sacrificavam comida para comprar água.

Quadro 4.26 - Consumo médio de água em Jinja, Uganda.

Tipo de abastecimento	Consumo médio (Litros/habitante/dia)	Nível de Serviço
Coleta manual de água	15,5	Individual
Torneira única	50	Misto
Ligação domiciliar	155	Dentro de casa (múltiplo)
Mananciais tradicionais, fontes ou torneiras públicas	15,8	Comunitário

Fonte: adaptado de WELL (1998).

- Esta conclusão introduz uma nova dimensão à relação entre saneamento e saúde
 - se o investidor na infra-estrutura sanitária tem como objetivo recuperar seu investimento através da tarifa paga pelo usuário, este retorno do investimento pode ter efeito na saúde da população, aumentando sua suscetibilidade às doenças infecciosas via desnutrição. O efeito negativo provocado pela desnutrição pode ultrapassar qualquer benefício conferido pela infra-estrutura sanitária (CAIRNCROSS & KINNEAR, 1993). CAIRNCROSS (1997) relata também que, no Reino Unido, em 1927, um grupo de famílias de baixa renda foi beneficiado por um projeto de “desfavelamento” na cidade de Stockton. Na época a taxa de mortalidade não mudou na cidade em geral, mas diminuiu em 10% nas famílias que permaneceram na favela, e aumentou em 30% nas famílias realocadas em casas modernas e bem ventiladas. A explicação para esse fato, por parte das autoridades locais de saúde foi essas famílias terem precisado arcar com os custos da nova residência e, assim, terem utilizado menor proporção da renda familiar para a aquisição de alimentos.
- A confiabilidade do abastecimento também pode influenciar as quantidades de água usadas pela população. Howard et al. (2002) descrevem que, em Nova Deli,

Índia, famílias de baixa renda estão expostas a maior risco devido à descontinuidade ou seja, intermitência do abastecimento de água. Como essas famílias têm poucos recursos, também têm pequena capacidade para armazenar grandes volumes de água, e conseqüente uso de menores volumes de água e prejuízos à higiene pessoal e doméstica. Esta situação pode ser agravada pelas precárias condições em que a água é armazenada. Howard et al. (2002) lembram que para serem investigados os padrões de consumo em um sistema de abastecimento de água, deve ser verificada a relação entre os volumes usados nos diferentes níveis de serviço. O volume de água para usuários dos mais baixos níveis de serviço pode ser reduzido devido ao consumo excessivo das residências com elevado nível de serviço.

- Quatro problemas são de extrema gravidade em sistemas de abastecimento de água que apresentam intermitência:
 - A população é forçada a armazenar água dentro ou próximo das residências, o que eleva os riscos de doenças veiculadas por vetores, como a dengue.
 - A população procura fontes alternativas de abastecimento como fontes na proximidade das residências ou escavam poços rasos.
 - A presença de vendedores de água que se valem da precariedade dos serviços de abastecimento, para estabelecerem um serviço complementar, que muitas vezes utilizam a água produzida no próprio sistema porém com difícil controle sanitário.
 - A possibilidade de contaminação da água dentro da rede de distribuição após o retorno da operação de um setor de abastecimento que se encontrava sem água (WELL, 1998).

Os níveis de acesso indicados no Quadro 4.25 também podem ser interpretados quanto à segurança da água na residência. O grupo sem qualquer acesso à água, efetivamente não tem qualquer segurança da água consumida, por que: as quantidades de água coletada são baixas, são excessivos os esforços feitos para aquisição da água e não há como assegurar a qualidade da água usada. O grupo com acesso básico tem regular segurança da água na residência, pois a água é

razoavelmente contínua e a qualidade da água pode ser garantida devido ao uso de manancial protegido durante seu manuseio. O grupo com acesso intermediário tem segurança efetiva da água residencial, uma vez que há disponibilidade de água para atender às necessidades domésticas e a qualidade pode ser assegurada. Entretanto, a intermitência no abastecimento de água exige estratégias domésticas para o problema. O grupo com ótimo acesso também tem ótima segurança da água residencial com quantidade, qualidade e continuidade adequadas para as necessidades domésticas.

Muitos dos benefícios à saúde provêm do uso adequado da água e de bons hábitos de higiene, pois somente a melhoria da infra-estrutura sanitária não é capaz de maximizar os ganhos para a saúde da comunidade. Howard (2002) relata que terem encontrado países com abundante disponibilidade de água segura e práticas pobres de lavagem das mãos e de higiene em geral. Nestas situações, somente as intervenções para a melhoria da higiene pessoal e doméstica têm conseguido melhorar a saúde da população, independente das condições socioeconômicas ou do nível de serviço. Portanto, em situações de precários níveis educacionais, a educação em saúde pública tem que fazer parte dos projetos de abastecimento de água.

O objetivo da saúde pública é a eliminação de toda transmissão evitável de doença infecciosa; assim, deve-se garantir que o abastecimento de água seja adequado, contínuo e seguro para toda a população. A forma para serem obtidos os melhores efeitos sobre a saúde das populações nas áreas urbanas é a implantação de sistemas de distribuição de água com o mais alto nível de serviço possível. Para os locais onde não seja possível atingi-lo é preciso garantir o melhor nível possível de serviço, porém, tendo sempre como meta um sistema de distribuição de água que permita a utilização de múltiplas torneiras nas residências, com confiabilidade e continuidade e que garanta o abastecimento de água segura. Entretanto, mesmo os sistemas de distribuição de água que permitem ótimo acesso via torneiras múltiplas, apresentam riscos, que devem ser avaliados e geridos para que a eficiência desse benefício seja revertida em saúde para a população usuária.

4.18 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

4.18.1 Introdução

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) têm como função básica: captar, tratar a água até atingir determinado nível de qualidade, e distribuí-la na quantidade desejada à população, onde quer que ela esteja e durante todo o tempo possível, de forma a não haver descontinuidade em seu suprimento. Um SAA é composto por diversos componentes que podem ser assim descritos:

- **Manancial** – é o corpo de água superficial ou subterrâneo, do qual é retirada água para o abastecimento. O manancial deve fornecer vazão suficiente para atender à demanda de água durante todo o período de projeto e, sob o ponto de vista sanitário de qualidade, deve ser adequado ao tratamento proposto, de maneira que a água produzida apresente um risco tolerável e possa ser usada para consumo humano.
- **Reservação de Água Bruta** - Pouco comum no Brasil esta unidade pode desempenhar o papel de pré-tratamento com vistas à redução do número de agentes patogênicos ou diminuição da concentração de determinados contaminantes; atuar como unidade de segurança no caso de contaminação acidental do manancial e, também, para regularização das vazões entre manancial e captação.
- **Captação** – é o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para retirada de água destinada ao sistema de abastecimento de água.
- **Adução de Água Bruta** – conjunto de tubulações destinado a conduzir a água desde a captação até a unidade de tratamento da água.
- **Tratamento** – conjunto de unidades destinado a tratar a água para adequar suas características aos padrões de potabilidade e não apresentar riscos à saúde humana.
- **Adução de Água Tratada** – conjunto de tubulações destinadas a conduzirem água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem água aos consumidores.

- **Reservação de Água Tratada** – ou simplesmente reservação, é o elemento do SAA destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.
- **Distribuição de Água** – Esse nome é dado à parte do SAA formada de tubulações, estações pressurizadoras e órgãos acessórios destinada a disponibilizar água segura para consumo humano, de forma contínua, em quantidade e pressão adequadas (MAYS, 2000).

A Figura 4.24 apresenta os componentes do sistema de abastecimento de água.

Figura 4.24 - Esquema de um sistema de abastecimento de água.

Fonte: Universidade da Água (2009).

Na análise de um SAA, devido à interação entre os componentes, a reservação é usualmente avaliada em conjunto com a distribuição de água sob a denominação de sistema de distribuição de água (SDA) e a reservação de água bruta em conjunto com o manancial, mas sem uma denominação específica (MAYS, 2000).

Segundo a NBR 9896/1993 – Glossário de poluição das águas – Sistema de distribuição de água “é o conjunto formado pela rede de distribuição, reservatórios e estações elevatórias, com a finalidade de fornecer água potável a uma comunidade”

(ABNT, 1993). Por sua vez, a Portaria 443/Bsb define sistema de distribuição como: “o conjunto formado pela rede de distribuição, reservatórios de distribuição e estações elevatórias que recebem água de reservatórios de distribuição” (BRASIL, 1978b).

A *American Water Works Association* (AWWA, 1986) define sistema de distribuição de água como todo componente de um serviço de abastecimento de água necessário para a distribuição de água final ou potável por meio de reservatórios alimentados por gravidade ou através de bombeamento, e que atende aos consumidores ou outros usuários através de redes de distribuição. Esses sistemas devem ser capazes também de fornecer água para o combate a incêndio e à irrigação de jardins. Neste estudo será adotada a definição em ABNT (1993).

O SDA é o maior bem patrimonial de um serviço de abastecimento de água. Segundo MARTINS (1966)* apud YASSUDA (1960) a proporção do custo de implantação entre as várias unidades do sistema de abastecimento de água podem ser assim descritos:

Captação:.....	2,8%
Adução:.....	19,1%
Tratamento	16,6%
Reservação	10,0%
Distribuição	51,5%

No Quadro 4.27 são apresentados indicadores atualizados de custos de implantação para sistemas de abastecimento de água auferidos pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP (TSUTIYA, 1998** apud TSUTIYA, 2004).

*YASSUDA, E.R. *Contribuição para o Estudo das Vazões de Distribuição em Redes de Água Potável*. Tese, Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1960.

**TSUTIYA, M.T. *Avaliação de custo de sistemas de abastecimento de água*. Relatório Técnico. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, 12 p. SABESP. São Paulo, 1998.

O SDA tem sua infra-estrutura dispersa em vasto território, na maioria das vezes fica enterrada e tem pouca possibilidade de inspeção, o que constitui enorme desafio para a saúde pública. Nos Estados Unidos investigações epidemiológicas têm atribuído aos sistemas de distribuição de água a causa dos surtos evidenciando que a quantidade de surtos de doenças de veiculação hídrica associadas com problemas nos sistemas de distribuição de água tem aumentado, embora o número total de surtos de doenças relacionadas com a água decresceu desde 1980.

Quadro 4.27 - Custos indicativos para as principais unidades de sistemas de abastecimento de água.

Partes constituintes	Custos (%)			
	$P \leq 10.000$	$10.000 < P \leq 40.000$	$40.000 < P \leq 100.000$	$P > 100.000$
Captação	30	20	8	3
Adução	8	9	11	11
Bombeamento	6	5	5	1
Tratamento	12	9	9	5
Reservação	6	6	6	4
Distribuição	38	51	61	76

Fonte: Tsutiya (2004).

O decréscimo, nos EUA, da quantidade total de surtos de doenças relacionadas à água por ano é devida à melhoria nas práticas de tratamento necessárias para atender a legislação sanitária vigente (*Superficial Water Treatment Rule*), as quais reduziram o risco de veiculação hídrica de protozoários. Contudo – a despeito da rigorosa legislação sanitária sobre qualidade da água estabelecida nos EUA, a partir da promulgação da *Safe Drinking Water Act (SDWA)* em 1974 – não há evidência de que tenham conseguido diminuir a proporção de surtos devido a fatores relacionados ao sistema de distribuição de água (NRC, 2006) – Figura 4.25.

Os sistemas de abastecimentos de água historicamente têm sido implantados para obter a máxima eficiência hidráulica na distribuição de água, disponibilizar água para os consumidores de forma contínua e, também, para combater incêndios. Para tanto é necessário assegurar que os sistemas de distribuição operem em níveis

satisfatórios de pressão e vazão. Por outro lado, é necessário atender às exigências sanitárias para que a qualidade da água distribuída apresente os menores riscos possíveis; na maioria das vezes, os cuidados para atender aos requisitos de qualidade da água são tomados apenas na água que sai da unidade de tratamento.

Figura 4.25 - Surtos de doenças relacionadas com a água em sistemas de abastecimento comunitários nos Estados Unidos.

Fonte: adaptado de NRC (2006).

Esta visão estreita pode trazer sérias consequências para um sistema de abastecimento de água. A qualidade da água que sai da unidade de tratamento, em seu percurso, pode sofrer profundas alterações, resultado de reações físicas, químicas e biológicas. Essas mudanças podem ocorrer por diversas razões, como falhas nos processos de tratamento, reações que ocorrem no próprio escoamento da água no interior das tubulações e reservatórios, processos de deterioração nos componentes do sistema, formação de biofilmes nas tubulações e mistura de águas de diferentes mananciais (CHEUNG e RIBEIRO REIS, 2007).

O sistema de distribuição de água é a barreira sanitária final de proteção da água contra a degradação de sua qualidade; portanto, manter a integridade deste sistema é vital para garantir água segura para consumo humano. Nada vale o uso de mananciais protegidos, estações de tratamento bem projetadas e operadas se os sistemas de distribuição possuírem nível de segurança inadequado, que permita a

contaminação da água durante seu escoamento através de suas unidades até o consumidor final. O Princípio Multi-Barreira é limitado em relação aos sistemas de distribuição de água, uma vez que não existem barreiras físicas subseqüentes e por se tratar de unidade extremamente vulnerável, cuja gestão exige técnicos habilitados, recursos materiais e financeiros e, principalmente, conhecimento dos problemas. Por isso é necessário compreender o sistema de distribuição de água de maneira que os riscos à saúde pública possam ser identificados, avaliados, monitorados e, medidas de controle sejam tomadas o mais rapidamente possível, para manter sua integridade.

4.18.2 Integridade do sistema de distribuição de água

Muitos fatores afetam a qualidade e a quantidade da água nos sistemas de distribuição. Eventos internos e externos ao sistema de distribuição podem degradar a qualidade da água com possíveis riscos à saúde pública. A corrosão e a lixiviação dos materiais das tubulações, o crescimento de biofilmes e microrganismos nitrificantes e a formação de subprodutos da desinfecção são eventos internos, potencialmente negativos, ao sistema de distribuição e deveriam ser minimizados.

O aumento da idade da água dentro do sistema de distribuição potencializa a maioria desses problemas. A contaminação do sistema de distribuição por fontes externas – que podem penetrar no sistema através de rupturas na infra-estrutura, de vazamentos e de conexões cruzadas pode resultar de falhas de construção, de retrossifonagem, e de transientes hidráulicos. As atividades de reparo e substituição, bem como as características físicas e químicas das tubulações, também podem ser importantes rotas para expor o sistema de distribuição à contaminação externa. Todos esses eventos atuam para comprometer a integridade do sistema de distribuição (NRC, 2006 e CHEUNG e RIBEIRO REIS, 2007).

A *National Academy of Science* (NAS) apresentou uma abordagem detalhada a respeito da integridade do sistema de distribuição que envolve todos os componentes do sistema de distribuição de água e os vários tipos de contaminantes que, potencialmente, podem estar presentes (NRC, 2006). Segundo a NAS a integridade do sistema de distribuição é definida como tendo três componentes básicos:

- Integridade Física, que se refere à manutenção da barreira física entre o interior do sistema de distribuição e o ambiente externo,

- Integridade Hidráulica, que se refere à manutenção de desejável vazão, pressão de água e idade da água, levando em conta a necessidade de água para consumo humano e combate a incêndio, e
- Integridade da Qualidade da água, que se refere à manutenção da qualidade final da água via prevenção da contaminação originada no interior da massa líquida nas tubulações.

Esta divisão é importante porque a perda da integridade de cada componente tem diferentes causas, conseqüências, métodos para sua detecção e prevenção e, claro, diferentes maneiras para recuperá-la. Os fatores importantes na manutenção da integridade física de um sistema de distribuição de água incluem a manutenção dos componentes dos sistemas, tais como a proteção de tubulações, juntas contra a corrosão e a presença de dispositivos para prevenir conexões cruzadas e retrossifonamento. A integridade hidráulica depende da apropriada operação do sistema para minimizar o tempo de residência e a prevenção de incrustação e tuberculização, devido aos produtos da corrosão e ao biofilme aderido às paredes da tubulação, que aumentam a rugosidade hidráulica e diminuem o diâmetro efetivo.

A manutenção da integridade da qualidade da água com vistas a evitar a contaminação interna pode envolver o controle de organismos nitrificantes e biofilmes via mudança de práticas de desinfecção. Existem também coincidências entre os três tipos de integridade. Todos os três estão sujeitos à especificidade do sistema, ou seja, são dependentes de fatores específicos locais como qualidade da água local, tipos de materiais presentes, áreas servidas e densidade populacional. Também certos eventos envolvem a perda de mais de um tipo de integridade – por exemplo, retorno devido à retrossifonagem envolve a perda das integridades hidráulica e física (NRC, 2005 e 2006).

4.18.3 Componentes de um sistema de distribuição de água

Um SDA urbano é composto basicamente por três elementos principais: rede de distribuição de água; reservação e estações de bombeamento, conhecidas também como estações elevatórias, pressurizadoras ou *boosters*. Estes componentes podem ser subdivididos em subcomponentes. Por exemplo, o componente estação de bombeamento é constituído pelos subcomponentes estrutural, elétrico, bombeamento

e tubulações. A unidade de bombeamento pode também ser dividida em sub-componentes: bomba, operação, controle, transmissão de força, tubulações e acessórios. Em geral ela descreve a hierarquia de construção e instalação das unidades do sistema de distribuição de água.

A rede de distribuição de água é objeto deste estudo, portanto, será apresentada nos itens a seguir; quanto aos demais componentes do SDA a literatura é extensa na descrição de detalhes técnicos, destaque para Mays, 2000; AWWA, 1986; NAS, 2006.

4.19 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

4.19.1 Introdução

RDA é definida como o conjunto de tubulações e órgãos acessórios destinados a atender à demanda de água segura para consumo humano de uma população, de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão adequadas. Apesar de ser o componente de maior custo de implantação do sistema de abastecimento de água, normalmente a RDA contém menos de 2% do volume total de água do sistema.

A importância sanitária da rede de distribuição – elo entre o tratamento da água e o consumidor – está na garantia que a água produzida chegará até o consumidor sem perda significativa de sua qualidade e que serão atendidos os requisitos de quantidade, pressão e continuidade estabelecidos pela legislação vigente (PRINCE, 2006).

4.19.2 Características das redes de distribuição de água

Diferente das demais unidades do sistema, como a captação e o tratamento, as redes de distribuição de água, constituem unidades descentralizadas e dispersas, geralmente, em toda a área de abrangência do sistema. São unidades pouco visíveis, de difícil acesso, inspeção e manutenção, porque geralmente estão enterradas sob as vias públicas.

As redes de distribuição de água são constituídas por tubos e peças, tais como, curvas, tês, reduções, registros, válvulas, hidrantes etc. Todos os componentes precisam ter resistência suficiente para suportar as pressões internas estáticas e dinâmicas, capacidade para resistir aos esforços externos e, também, as variações de

pressões e transitórios hidráulicos causados pela abertura ou fechamento rápido de uma válvula, hidrante ou partida e parada de uma bomba.

As pressões na rede nem sempre estão situadas na faixa de pressão especificada por norma, entretanto, valores superiores podem ser aceitos desde que haja justificativa técnica ou econômica.

Os esforços externos atuantes sobre as tubulações normalmente são o peso da terra sobre o tubo e o carregamento devido ao trânsito de veículos na superfície. Portanto, além dos esforços internos, os tubos devem resistir a esses esforços sem sofrerem deflexões excessivas, esmagamentos ou ruptura.

Por outro lado, o escoamento de água tratada através de uma rede de distribuição expõe a água tratada a numerosas superfícies. Nenhum material que esteja em contato com a água para consumo humano na rede deve promover o crescimento de microrganismos ou dissolver alguns contaminantes que possam facilitar o crescimento microbiano e prejudicar a qualidade da água tratada.

Para Ainsworth (2004), no estudo de sistemas de distribuição de água devem ser considerados os seguintes aspectos sanitários:

a) Variabilidade da qualidade da água

A qualidade da água pode ser degradada no sistema distribuidor pois, em seu caminho entre a unidade de tratamento e a torneira do consumidor ocorrem reações químicas e biológicas que estão relacionadas:

- ao contato íntimo da água com os materiais do sistema de distribuição,
- à contaminação do sistema distribuidor por fontes externas que ocorre por causa de rompimento das tubulações;
- a vazamentos relacionados com transientes hidráulicos;
- à manutenção inadequada de reservatórios de distribuição, entre outras coisas (GELDREICH, 1996).

Além desses problemas, outros podem ocorrer nas instalações prediais dos consumidores os quais, se não controlados, podem afetar a qualidade da água da rede de distribuição.

b) Capacidade excessiva

O sistema de distribuição não deve ter capacidade excessiva, pois resultarão longos tempos de trânsito da água entre a unidade de tratamento e o consumidor. A capacidade excessiva somente é justificada quando ela for necessária para atender o aumento da demanda futura já conhecida. A construção de unidades em etapas é uma solução técnica e econômica, por permitir o aperfeiçoamento da utilização de recursos financeiros e evitar a ociosidade de instalações.

c) Baixa vazão, zonas mortas e curtos-circuitos

Sempre que possível deveriam ser evitados: situações de baixa vazão, presença de zonas mortas e curtos-circuitos no sistema de distribuição. Setores com baixa vazão de zonas mortas devem ser restringidos tanto quanto possível. As zonas mortas e curtos-circuitos no sistema podem causar problemas pela criação de tempos longos de residência e de setores no quais podem ser acumulados sedimentos. Mudanças na direção do fluxo (fluxo em duplo sentido) em anéis da rede podem provocar distúrbios nos depósitos nas tubulações.

d) Pressões negativas

Situações que levem à pressões negativas sempre devem ser evitadas. Os organismos fecais e vírus humanos podem estar presentes na água subterrânea próxima à tubulação e durante transientes de baixa ou negativa pressão poderão ser arrastados para dentro das tubulações (LeCHEVALLIER., 2003). A modelagem matemática pode ser usada para identificar onde, quando e como ocorrem pressões negativas. As medidas preventivas, como reforço no sistema, podem então ser identificadas e implementadas. Até que tais medidas sejam efetivadas, o serviço de abastecimento de água através de seu corpo técnico, responsável por diariamente operar a rede, deveria ser informado onde, quando e como pode ocorrer a contaminação da rede. Tais situações podem ocorrer onde houver:

- Residências em áreas de elevada topografia;
- Propriedades remotas no fim de longos trechos de tubulação;
- Demandas que sejam maiores que as demandas projetadas;
- Tubulações de capacidade inadequada (diâmetro muito pequeno);
- Tubulações rugosas (por exemplo, tubulações de ferro corroídas ou tubulações com excesso de sedimentos);

- Falhas em equipamentos (por exemplo, bombas e válvulas).

e) Pressões apropriadas

Devem ser mantidas pressões em todos os pontos do sistema dentro de uma faixa em que a pressão máxima possa evitar rompimentos na tubulação, com garantia mínima que a água seja distribuída com vazão adequada para todas as demandas esperadas.

f) Abastecimento intermitente

Em algumas situações, a distribuição de água está restrita a um número de horas por dia ou dias por semana. Embora tais sistemas não sejam desejáveis, eles são a realidade para significativa proporção da população mundial. O controle da qualidade da água em sistemas intermitentes representa um grande desafio para os operadores de sistema porque, com reduzida pressão, o risco de retrossifonagem aumenta significativamente. O risco pode ser elevado em épocas do ano com chuvas intensas, quando as condições de mistura do solo aumentam a probabilidade de gradiente de pressão que se desenvolva do solo para a tubulação. No abastecimento, os mais significativos pontos de risco são áreas nas quais a tubulação passa através de estruturas de drenagem ou outros locais onde haja formação de reservatórios de água estagnada. A qualidade da água também pode ser deteriorada no retorno do abastecimento de água (após um período de falta de água na rede), quando as oscilações podem desalojar o biofilme aderido à superfície das tubulações, com conseqüentes problemas estéticos de qualidade de água.

Os sistemas intermitentes são muito comuns em muitos países; portanto, é importante minimizar os riscos associados à saúde. Compreender o sistema de abastecimento de água – sua vulnerabilidade e os perigos que o afetam – é crucial para controlar a qualidade da água. Não é exequível eliminar todos os resíduos gerados após o restabelecimento da água no sistema com intermitência; contudo, é possível selecionar áreas de elevado risco e monitorar seu desempenho. Controlar perigos nas proximidades das tubulações é mais importante porque o sistema intermitente é inerentemente vulnerável a vazamentos e rupturas nas tubulações.

4.19.3 Componentes da rede de distribuição de água

As redes de distribuição de água basicamente são formadas pelas tubulações e dispositivos. Na literatura, o sistema de medição e as ligações domiciliares são considerados isoladamente da rede de distribuição, apesar de estarem ligados a ela – neste estudo eles foram considerados como parte da rede de distribuição de água e deles será realizada uma breve descrição.

4.19.3.1 Tubulações

Nome dado ao conjunto de tubos e conexões assentados com a finalidade de transportar um fluido ou uma mistura deles de um ponto a outro. Tubos são condutos fechados, geralmente de seção circular semelhantes a cilindros ocos. Podem funcionar como condutos forçados, isto é, o líquido neles escoar sob pressão diferente da pressão atmosférica; são fechados e funcionam sempre totalmente cheios de água; ou como condutos livres, que quase sempre apresentam superfície livre do nível de água com pressão interna igual à pressão atmosférica (AZEVEDO NETTO et al., 1998). Os principais tipos de materiais de que são fabricados os tubos e conexões utilizados em sistemas de distribuição de água são: ferro fundido dúctil, policloreto de vinila (PVC) e polietileno (PE). Além desses materiais, também são utilizadas tubulações de aço com junta soldada ou elástica, ferro fundido cinzento, PVC reforçado com fibra de vidro e poliéster reforçado com fibra de vidro e fibrocimento. O Quadro 4.28 mostra informações gerais sobre os diversos tipos de tubulações usadas em redes de distribuição de água. Informações detalhadas sobre as tubulações usadas em redes de distribuição de água podem ser obtidas em AWWA (1986), Alembert Jr (1997), Azevedo Netto et al. (1998), Mays (2000), Tsutiya (2004), Trifunovic (2006) e Kuroda e Pádua (2006).

4.19.3.2 Dispositivos usados nas redes de distribuição

Além das tubulações implantadas na maioria das vias públicas é necessário que sejam instalados dispositivos que auxiliem a operação e manutenção das redes de distribuição.

Quadro 4.28 - Características das principais tubulações usadas na rede de distribuição de água.

Característica	Material									
	FoFo Dúctil	Aço	PVC		Polietileno		Polipropileno	PRPV/JE	RPVC/JE	
			PBA	DEFOFo	PEND	PEAD				
Coefficiente de rugosidade (C)	130	130	160	160	150	150	150	135-150	135-150	
Rugosidade Abs. Equivalente (e) (mm)	0,1				0,02	0,02	0,02	0,06-0,08	0,009-0,011	
Diâmetros fabricados (mm)	80-1.800	170-2.500	50-180	100-500	16-1.600		20-500	50-2.400	25-700	
Pressão de Serviço (MPa)	≤ 7,7	≤ 12,15	0,6-1,0	1,0	0,2-2,0		0,6-1,0	0,2-3,2	0,2-3,2	
Massa Específica (g/cm³)				1,4-1,45	0,944	0,954	0,9	1,4-1,6	1,7	
Resistência ao choque	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	
Módulo de Elasticidade à Tração (GPa)	152,0	207,0	2,5 – 3,5		0,6	0,9	1,3	4,0 – 5,6	6,0	
Coefficiente de Poisson	0,27	0,30	0,46		≥ 600	≥ 350	≥ 50	2,0	2,0	
Resistência a solos ácidos	Baixa Requer revestimento	Baixa Requer revesti- mento	Alta		Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	
Resistência a cargas externas	Alta	Alta	Baixa		Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	
Coefficiente de Dilatação Linear (m/° C)	Não disp.	Não disp.	(5 a 15) x 10 ⁻⁵		5,5 x 10 ⁻⁵	4,7 x 10 ⁻²	4,0 x 10 ⁻²	35 x 10 ⁻⁶	25 x 10 ⁻⁶	
Vazamentos	Tem	Pouco	Tem		Pouco	Pouco	Pouco	Tem	Tem	
Arrebitamentos	Pouco	Muito Pouco	Pouco		Muito Pouco	Muito Pouco	Muito Pouco	Muito Pouco	Muito Pouco	
Resistência à corrosão	Alta	Baixa	Alta		Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	
Consertos	Médio	Médio	Fácil		Relativamente fácil		Relativamente fácil	Relativamente fácil		
Assentamentos e recobrimentos	Fácil	Relat. fácil	Cuidados especiais		Cuidados especiais		Cuidados especiais	Cuidados especiais	Cuidados especiais	
Montagem	Fácil	Difícil Solda e revest.	Relativamente fácil		Solda relativamente fácil		Solda relativamente fácil	Fácil	Fácil	
Travessia de cursos d'água	Exige estruturas especiais	Bom	Não recomendável		Não recomendável		Não Recomendável	Possível		

Fonte: Kuroda e Pádua (2006).

Os dispositivos compostos por válvulas de controle; por exemplo, válvulas redutoras de pressão, válvulas de retenção e válvulas reguladoras, também são utilizados para melhorar a eficiência da operação de uma rede com relação às pressões, abastecimento de água e custo de energia elétrica. Todos os dispositivos necessitam ser projetados e instalados corretamente e necessariamente requerem manutenção regular. A correta localização de um dispositivo pode ser efetuada com uso de um programa computacional para modelagem de rede de distribuição de água. A operação de válvulas pode ser feita de ponto remoto e, necessariamente, deve ser realizada de maneira a minimizar os efeitos indesejáveis de transientes hidráulicos.

É importante que a rede de distribuição tenha acessórios que possam ser operados através do uso de práticas de manutenção e operação que, além de higiênicas, dispensam mínimo tempo de interrupção da operação. O uso de dispositivos com *by-pass*, conexões com flanges e juntas de desmontagem permite a retirada de serviço de válvulas redutoras de pressão e de medidores para a devida manutenção. Esta solução possibilita a instalação de uma segunda válvula, de tal modo, que sempre existirá uma válvula em uso enquanto a outra estiver em manutenção. As caixas de proteção dos dispositivos devem ter dimensões compatíveis com os serviços de manutenção a serem realizados e apresentar adequado sistema de drenagem para reduzir a possibilidade de ingresso de contaminantes. Todos os acessórios devem ser cadastrados pela área operacional para possibilitar a rápida localização e acesso a essas unidades. Os principais acessórios usados em distribuição de água são:

- Dispositivos:
 - de manobra ou de controle;
 - de descarga;
 - redutor de pressão;
 - sustentador de pressão;
 - de entrada ou eliminação de ar;
 - de proteção das redes;
 - de combate a incêndio;
- Sistema de medição, e
- Ligações prediais.

Esta monografia utiliza o termo dispositivo, ao invés da denominação mais simples “válvula” ou “hidrante”, para caracterizar o conjunto de elementos que constituem um dispositivo em que a válvula ou o hidrante – apesar de ser o elemento mais importante - é apenas um dos seus elementos. Outros elementos que constituem os dispositivos são caixa de proteção, acessórios (curvas, válvulas, tês, extremidades etc.), tubulações auxiliares (tubulação de drenagem da galeria de águas pluviais) e a estrutura de acesso (laje de cobertura, tampão etc.). O detalhamento desses dispositivos é importante porque, de hábito, pouco cuidado é dispensado aos aspectos técnicos desses órgãos durante o projeto e operação de redes de distribuição. Cada dispositivo possui seu próprio esquema de montagem e os cuidados a serem tomados são específicos para cada um deles.

Informações adicionais sobre os dispositivos usados em redes de distribuição de água podem ser obtidas em Wiendl (1973), Alembert Jr (1997), Azevedo et al. (1998), Mays (2000), Tsutiya (2004) e Trifunovic (2006). Para detalhes sobre válvulas é recomendado consultar o fabricante do produto desejado e, quanto aos dispositivos de combate a incêndio é sugerido consulta as normas técnicas da ABNT e do Corpo de Bombeiros, no Estado de São Paulo ver São Paulo (2004).

Informações sobre sistemas de medição podem ser obtidas em Hueb (1985), Alves et al. (2004a e 2004b), Tardelli Filho (2004), Tsutiya (2004) e Taíra (2007); e sobre ligações prediais em Tsutiya (2004).

4.19.4 Tipos de Rede de distribuição de água

Uma rede de distribuição de água normalmente é composta por dois tipos de condutos ou tubulações (ABNT, 1994):

- **Principais:** denominados também conduto tronco, tubulação mestra ou primária, com maior diâmetro, têm por finalidade abastecer os condutos secundários. Essas tubulações são responsáveis pela condução da água desde a saída de reservatórios ou unidades de bombeamento até a área de abastecimento. A manutenção da rede primária – usualmente com diâmetros superiores a 200 mm – via de regra é mais difícil de ser realizada em comparação com as tubulações secundárias; os operadores precisam estar conscientes dos riscos e danos associados com as redes primárias para planejar as intervenções.

- **Secundárias:** demais tubulações da rede de distribuição de água.

4.19.5 Configuração das redes de distribuição de água

As redes têm diferentes configurações devido à disposição das tubulações principais e ao sentido de escoamento nas tubulações secundárias e, desta forma, podem ser classificadas como ramificadas, malhadas ou mistas.

4.19.5.1 Rede ramificada

O abastecimento neste tipo de rede é feito a partir de uma tubulação principal, alimentada por um reservatório ou estação elevatória, e a distribuição é feita diretamente para os condutos secundários. A Figura 4.26 mostra a configuração de uma rede ramificada. Este tipo de rede apresenta várias pontas secas ou mortas – extremidades de tubulações em que há grande probabilidade de acúmulo de material da rede e estagnação da água, por haver pouca possibilidade de circulação da água. A instalação de dispositivos de descarga estrategicamente instalados e sua operação periódica constituem medidas necessárias para garantir a qualidade da água distribuída.

Figura 4.26 - Esquema de uma rede ramificada.
Fonte: Tsutiya (2004).

4.19.5.2 Rede Malhada

As redes malhadas são compostas por tubulações principais que formam anéis ou blocos, de modo a ser possível abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho, como mostra a Figura 4.27. Este tipo de rede permite maior flexibilidade operacional para atender a demanda e facilidades com a sua manutenção, com pouca interrupção no fornecimento de água. Este traçado também

tem vantagens em relação à qualidade da água, pois o escoamento da água pode ocorrer nos dois sentidos da tubulação, além de não haver formação de pontas mortas.

4.19.5.3 Rede Mista

Esse tipo de rede predomina em nossos sistemas de abastecimento de água; ele é composto pela associação de redes ramificadas com redes malhadas.

Figura 4.27 - Esquema de uma rede malhada com anéis ou malhas.
Fonte: Tsutiya (2004).

4.19.6 Regimes de fornecimento aos prédios

O abastecimento de água segura para consumo humano, conforme a existência ou não de reservatórios domiciliares, pode ser feito de três formas distintas:

4.19.6.1 Regime com regularização da água

Denominado também regime de abastecimento indireto – nele, toda a água que o prédio recebe é encaminhada para um reservatório domiciliar que tem a função de atender as variações de consumo predial e propiciar uma vazão constante da rede de distribuição. Este sistema tem a vantagem de permitir a adoção de vazões para o dimensionamento da rede de distribuição, que dependem da máxima solicitação horária, no dia de maior consumo da cidade. Desta forma, resulta em um sistema de condutos com menores diâmetros, de custo relativamente baixo – em comparação com os correspondentes custos das redes que adotam outros regimes de fornecimento. Entretanto, têm o grave inconveniente representado pelo reservatório

predial, fonte potencial da poluição da água no interior do próprio prédio (LIMA FILHO, 1978).

4.19.6.2 Regime sem regularização da água

Neste regime de abastecimento não há reservatórios domiciliares e cabe à rede de distribuição atender às variações de consumo predial. O ramal e a tubulação alimentadora predial, que têm início no hidrômetro, devem ser dimensionados para a vazão máxima instantânea do prédio, pois este conjunto é responsável pelo abastecimento de todos os pontos de consumo no prédio.

Este regime tem a grande vantagem sanitária de não usar reservatórios domiciliares. Os condutos da rede de distribuição devem ser dimensionados para atender às vazões máximas prováveis que podem ocorrer durante um período, geralmente em 99% do tempo. Os ramais prediais são de diâmetros maiores e, desta forma, tendem a elevar os custos de implantação das redes de distribuição.

4.19.6.3 Regime misto

No regime de distribuição híbrido existe o abastecimento direto e indireto dos prédios, em função das circunstâncias. O uso do tipo direto para alguns pontos de uso, como enchimento de máquina de lavar roupa, e do indireto para outros, tira vantagens de cada regime de abastecimento e, em muitos casos, constitui a melhor solução (TSUTIYA, 2004).

4.19.7 Domínios público e privado

As instalações prediais de água fria têm as mesmas exigências aplicáveis aos sistemas de abastecimento de água e, particularmente, aquelas relativas às redes públicas de abastecimento de água, pois podem ser consideradas como parte integrante de todo o sistema de abastecimento. Alguns países consideram as instalações prediais como parte do sistema público de distribuição de água e, nesses casos, cabe ao serviço de abastecimento de água garantir o controle da quantidade e qualidade da água até o seu ponto de uso, ou seja, até a extremidade à jusante do sub-ramal, a partir de onde a água passa a ser considerada água servida. Nesta situação, qualquer parte da instalação predial de água à montante desta extremidade deve preservar as características da água para o uso ao qual se destina; esta atividade é

responsabilidade da concessionária dos serviços de abastecimento de água; os Estados Unidos adotam este critério. No Brasil a fonte de abastecimento destinada à instalação de água pode ser via rede pública da concessionária ou qualquer sistema particular de fornecimento de água. Quando a fonte é a rede pública considera-se que a fonte de abastecimento é a extremidade à jusante do ramal predial.

Alguns serviços de abastecimento de água deixam explícitas esta separação, como o regulamento do Serviço de Abastecimento de Água do município de Araçoiaba da Serra/SP:

Art. 21. As ligações de água – que são parte integrante do sistema de distribuição de água – constituem patrimônio público do município. Ela tem início na tubulação distribuidora, termina imediatamente após o cavalete e, nesse ponto, tem início o que para fins deste regulamento, é designado como “ponto de entrega de água”; a instalação predial de água é responsabilidade exclusiva do usuário (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAÇOIABA DA SERRA, 2007).

Portanto, a responsabilidade pelo controle da quantidade e qualidade da água da concessionária, ou seja, o domínio público aí se encerra. Todo o controle sanitário do sistema composto por tubos, reservatórios, peças de utilização, equipamentos e outros componentes – destinados a conduzir a água da fonte de abastecimento aos pontos de utilização – são responsabilidade do usuário (domínio privado) da instalação predial de água. A Figura 4.28 mostra o limite entre os dois domínios.

4.19.8 Redes de distribuição de água simples e dupla

As RDA podem ser assentadas de duas formas distintas. As tubulações podem ser assentadas nas ruas e, normalmente, são constituídas de uma única linha, denominada rede simples, ou então as chamadas redes duplas, pois as tubulações são assentadas em ambas as calçadas da rua.

As redes duplas apresentam as seguintes vantagens:

- podem ser assentadas em profundidades menores, pois não estão sujeitas às ações do trânsito pesado do meio da rua;
- permitem economia no custo de reposição de pavimentação;
- atrapalham menos o trânsito na fase inicial de implantação e na manutenção; e

- reduzem os custos das ligações domiciliares (TSUTIYA, 2004).

Figura 4.28 - Limite entre os domínios públicos e privados.
Fonte: adaptado de Tsutiya (2004).

A NBR 12.218/1993 prescreve o uso de rede dupla nos seguintes casos:

- a) em ruas principais de tráfego intenso;
- b) quando o estudo demonstrar que a rede dupla será mais econômica.

Para Wiendl (1973) a única desvantagem das redes duplas, que a inviabiliza como solução geral para a cidade, é seu custo mais elevado. Esse fator, por sua própria natureza, deve ser bem avaliado e confrontado com as vantagens apresentadas.

Algumas Prefeituras de cidades do interior do Estado de São Paulo têm aprovado leis que obrigam a instalação de redes duplas pela concessionária dos serviços de abastecimento de água e esgotos. A razão principal para essa medida é a freqüente necessidade de reposição asfáltica principalmente em bairros com pavimentação recente.

A SABESP prescreve para novos empreendimentos imobiliários a serem instalados no interior do Estado de São Paulo, em ruas pavimentadas ou com previsão de serem, a implantação de redes duplas construídas nos centros dos passeios. Em casos excepcionais, após a aprovação da unidade operacional da

SABESP, elas poderão ser construídas no terço mais alto carroçável das ruas, onde elas deverão ser executadas, incluindo também as ligações domiciliares dos dois lados da rua (SABESP, 2002). Aqui também é observado o cuidado com as futuras reposições asfálticas em pavimentos recentes.

Para Wiendl (1973) a escolha pelo assentamento de tubulação única é unicamente por conveniência hidráulica. A tubulação única em ruas deveria ser localizada à meia distância das casas, isto é, no meio da rua; entretanto isto nem sempre é possível, devido às interferências com galerias de águas pluviais, redes coletoras de esgotos etc. A colocação no terço médio permite manter uma distância adequada em relação aos coletores de esgotos e galerias de águas pluviais e, desta forma, reduz a possibilidade de contaminação da RDA.

4.19.9 Localização das Tubulações

A localização e profundidade das instalações das tubulações são importantes, especialmente quando os sistemas de esgotos são adjacentes. Segundo Wiendl (1973) as RDAs devem ser mantidas durante as 24 horas por dia sob pressão elevada, geralmente com pressões superiores a 10 mca. Nessas condições, durante a operação normal da RDA que atenda às exigências mínimas de operação, a tendência natural será a saída da água – vazamentos – e não sua entrada – contaminação. Entretanto, mesmo em redes bem operadas, ocorrem situações de queda da pressão interna a tal ponto que poderá haver possibilidade de ocorrer contaminação. Para evitar essa situação, as redes de distribuição de água e de coleta de esgoto deverão ser mantidas o mais distantes possível.

Geralmente os coletores de esgotos estão assentados em maiores profundidades para assegurar que os ramais prediais funcionem pela ação da gravidade. Essa exigência não se aplica às RDA, pois as pressões internas serão sempre elevadas, geralmente variando entre 10 e 50 mca. Em uma rede bem projetada, construída e operada, os trechos mais elevados estão submetidos a pressões internas da ordem de 10 mca, suficientes para abastecer diretamente uma edificação de dois andares, sem emprego de reservatórios domiciliares.

Assim, também é de pouca importância hidráulica a profundidade de assentamento das tubulações, uma vez que grande parte da rede estará sujeita a pressões mais elevadas. Portanto, a profundidade de assentamento das tubulações

será determinada unicamente por questões de resistência dos materiais, características do solo, condições de tráfego e eventualmente obstáculos pré-existentes no local. O Quadro 32 apresenta a profundidade mínima das valas recomendada pela SABESP (SABESP, 2002).

Quadro 4.29 - Profundidade mínima recomendada para o assentamento de RDA.

Tipo de pavimento	Profundidade (m)
Valas sob passeio	0,70 + D
Valas sob via pavimentada ou com greide definido por guias e sarjetas	1,00 + D
Valas sob via de terra ou com greide indefinido	1,20 + D

D: diâmetro da tubulação a ser assentada.

Fonte: SABESP (1996).

4.19.9.1. Localização da rede de distribuição de água em relação à fontes de contaminação

As tubulações devem ser instaladas respeitando uma adequada separação de fontes potenciais de contaminação tais como esgotos, galerias de águas pluviais, tubulações de águas servidas em geral, fossas sépticas e galerias de infiltração ou filtração de esgotos, tubulações de esgoto tratado etc. A adequada separação dependerá do material da tubulação, tipo de junta, condições do solo e espaço necessário para eventuais reparos (KIERMEYER et al., 2001). Segundo Ainsworth (2004) deveriam ser atendidas as recomendações a respeito da locação das tubulações.

A NBR 12.266/1992 (ABNT, 1992) prescreve que o posicionamento deva ser feito de acordo com as normas municipais de ocupação das várias faixas da via pública. Quando o posicionamento não estiver bem definido ou for inexecutável, deve ser observado o seguinte:

- As valas devem ser localizadas no leito carroçável quando:
 - Os passeios laterais não tiverem a largura mínima necessária ou existirem interferências de difícil remoção;
 - Resultar em vantagem técnica ou econômica;

- A vala no passeio oferecer risco às edificações adjacentes;
- Os regulamentos oficiais impedirem sua execução no passeio;
- As valas devem ser localizadas no passeio quando:
 - O projeto previu rede dupla;
 - Os passeios tiverem espaço disponível;
 - Houver vantagem técnica e econômica;
 - A rua for de tráfego intenso e pesado;
 - Regulamentos municipais impedirem sua execução no leito carroçável da rua.
- Devem ser cumpridas as seguintes condições:
 - A distância mínima entre as tubulações de água e de esgoto deve ser de 1,00 m, e a tubulação de água deve ficar no mínimo, 0,20 m acima da tubulação de esgoto. Esta recomendação deve ser estendida quando da execução dos ramais de água e esgoto;
 - Nas redes simples, as tubulações devem ser localizadas em um dos terços laterais do leito, e o esgoto precisa ser localizado no terço mais favorável às ligações prediais. Esta recomendação deve ser estendida quando da execução dos ramais de água e esgoto;
 - Nas redes duplas, as tubulações devem ser localizadas o mais próximo possível dos meios-fios, uma em cada terço lateral do leito.

Quando as valas estiverem localizadas nos passeios devem ser atendidas as seguintes condições:

- O eixo das tubulações de água deve ser localizado a uma distância mínima de 0,50 m do alinhamento dos lotes;
- O eixo das tubulações de esgoto deve ser localizado a uma distância mínima de 0,80 m do alinhamento dos lotes;
- A distância mínima entre as tubulações de água e de esgoto deve ser de 0,60 m, e a tubulação de água deve ficar no mínimo, 0,20 m acima da tubulação de esgoto. Esta recomendação deve ser estendida quando da execução dos ramais de água e esgoto.
- No caso de rede simples, de água ou de esgoto, elas devem ser localizadas no passeio mais favorável.

A Portaria nº. 443/Bsb (BRASIL, 1978b) - que estabelece os requisitos sanitários mínimos a serem obedecidos no projeto, construção, operação e manutenção dos serviços de abastecimento de água para consumo humano – não faz menção quanto à distância mínima que as tubulações da rede de distribuição deverão manter em relação às tubulações de esgoto. Entretanto, o item 5.17 refere:

5.17 Quando as adutoras cruzarem tubulações de esgoto devem fazê-lo em cota superior e o mais afastado possível. Quando as adutoras forem instaladas na proximidade de tubulações de esgoto devem fazê-lo em cota superior e com afastamento de 3,00 m.

Nestes itens pode ser observado o objetivo claro de proteção sanitária das adutoras contra a possível contaminação provocada pela proximidade com as redes coletoras de esgotos. Entretanto não há restrição alguma com relação às redes de distribuição de água.

A SABESP, em projetos de abastecimento de água, tem adotando como regra para novos empreendimentos imobiliários a construção de redes duplas de água nos passeios e manutenção da rede de esgoto simples no leito carroçável (item I. 1.2 - 7). Uma exceção a esta regra refere-se à situação em que a rede de água esteja implantada no leito carroçável e, então, será permitida a implantação da rede coletora de esgoto nos passeios (I. 2.2 – 2) (SABESP, 2002). Em ambas as situações não são indicadas distância mínima entre as tubulações de água e esgoto nem em situações onde haja cruzamento das tubulações.

A GREAT LAKES (GREAT LAKES..., 1997) determina que sejam considerados os seguintes fatores na determinação da distância segura entre a rede de distribuição e as fontes de contaminação:

a) Considerações de caráter geral:

- Materiais e tipos de juntas para os tubos de água e esgoto;
- Condições do solo.
- Conexões de serviço e ramais na rede e linhas de esgotos;
- Variações compensatórias das separações verticais e horizontais;
- Espaçamento para reparo ou alteração de tubulações de água e esgoto;

- Profundidade das tubulações próximas a poços de visitas.

b) Considerações específicas:

- As redes de água devem ser assentadas a, pelo menos, 3,00 metros (10 pés) da rede coletora, tanque séptico, linhas de recalque, ou sistema de tratamento por disposição no solo. A distância deverá ser medida, na direção horizontal, borda a borda.
- Em casos em que não seja prático manter uma separação de 3,00 metros, a autoridade sanitária pode permitir a diminuição desta distância com base em projeto de engenharia. Nos cruzamentos das redes de água e rede de esgoto ou linhas de recalque, as tubulações deverão ser assentadas de maneira a assegurar uma distância mínima vertical de 45 cm entre o lado de fora da rede coletora e a face externa do tubo coletor de esgoto. Isto deverá ser executado no caso de a rede de água estar acima ou abaixo da rede coletora, com preferência para a rede de água estar localizada acima da rede de esgoto.
- Em cruzamentos, um comprimento cheio (uma barra de tubo) da rede de água deverá estar locado entre as juntas tão longe da rede coletora quanto possível. Apoio estrutural especial para a tubulação de água e esgoto pode ser necessário.
- Quando for impossível obter as distâncias mínimas especificadas, a autoridade sanitária deverá aprovar especificamente uma variante e os seguintes métodos de instalação podem ser usados:
 - Instalação de água próxima à rede coletora por gravidade, assegurado que a rede de água está assentada em uma vala separada ou em prateleira localizada de um lado da rede coletora de esgoto com tal elevação que o fundo da rede de água esteja pelo menos 0,45 m acima da face superior do coletor de esgoto por gravidade.
 - O material da rede coletora de esgoto será idêntico ao da água para consumo humano, com pressão mínima de trabalho de 150 psi (1,0 MPa), atendendo às normas da AWWA, ou tubulação aprovada pela autoridade sanitária e sua pressão deverá ser testada para assegurar impermeabilidade da água.

- Nenhuma rede de água deverá passar através ou entrar em contato com alguma parte de um poço de visita de esgoto. As redes de água deveriam estar localizadas pelo menos a 3,00 metros dos poços de visitas.
- Nas travessias em cursos de água, seja sobre ou sob corpos de água, os problemas são especiais. A tubulação nas travessias sobre corpos de água deverá ser adequadamente apoiada e ancorada, protegida de avarias e congelamento e, ainda, ser acessível para reparo ou deslocamento.
- Na travessia sob corpos de água deve ser prevista uma cobertura mínima de 0,60 m sobre a tubulação. Quando travessias sob cursos de água forem maiores que 4,56 m em largura (extensão), deverão ser observados:
 - A tubulação deverá ser de construção especial, com juntas flexíveis, restringidas ou soldadas;
 - Válvulas deverão ser instaladas em ambas as pontas da travessia para que a seção possa ser isolada para testes e reparos; as válvulas deverão ser facilmente acessíveis e não sujeitas a inundação;
- Tap ou outra singularidade para permitir a inserção de um pequeno medidor para determinar vazamentos e obter amostras de água deverá ser feito em cada lado da válvula mais próxima da fonte de abastecimento.

4.19.9.2. Localização dos condutos principais

Segundo Martins (1966) a localização e traçado dos condutos principais dependem, fundamentalmente, da topografia e do critério admitido pelo projetista, para o encaminhamento das vazões aos pontos de consumo – dois critérios norteiam o traçado das canalizações:

- a) Critério de Fruhling**, em que os condutos forçados da rede de distribuição obedecem a um traçado que é orientado como se a cidade a abastecer fosse uma área a ser irrigada. Em consequência, os condutos de maior diâmetro têm seu traçado acompanhando os pontos altos da cidade e os condutos principais restantes acompanham linhas com pequena variação de cota, e abastecem as áreas situadas na encosta lateral, de cota inferior. Neste traçado, o principal inconveniente apontado, devido à importância que assumem as condições

altimétricas, é o caminho indireto seguido pela água, resultando uma rede antieconômica.

- b) Critério de LugeManner**, no qual o traçado dos condutos obedece à condição de procurar o menor trajeto possível entre o reservatório de distribuição e os pontos de consumo.

Em qualquer dos dois critérios, o traçado das vias públicas serve como guia para o dos condutos. O de Fruhling foi totalmente abandonado nos projetos de redes de distribuição. Elas são constituídas de condutos forçados, nos quais o escoamento da água é função da carga motriz disponível, diferença de cota entre os níveis de água nos pontos extremos dos condutos, ou condição equivalente – desde que a linha piezométrica não intercepte o terreno. O de LugeManner também pode ser aplicado às redes, com algumas preocupações, referentes aos condutos principais:

- orientar o traçado desses condutos para atender os pontos de consumo elevado: indústrias que necessitam água potável, edifícios públicos e áreas construídas que devam ser protegidas contra incêndios etc.
- evitar, se possível, o traçado seguindo vias principais e vias de grande tráfego.
- evitar vias em que a reposição da pavimentação seja onerosa.
- traçar os condutos principais com tais afastamentos, entre si, que possibilitem o aproveitamento dos condutos secundários até o limite de sua capacidade.
- prever um traçado no qual, de modo geral seja possível, a alimentação dos condutos secundários, a partir de dois condutos principais.
- fixar distâncias máximas entre os condutos principais, conforme o tipo de equipamento previsto no combate a incêndios.

Em casos especiais, principalmente nas grandes cidades, poderá ser necessário o dimensionamento para combate a incêndios pois, devido às grandes vazões necessárias, será o fator fundamental do dimensionamento de condutos principais. É conveniente: dotar a rede de condutos principais formando anéis, calculá-la para vazões da hora de maior consumo, no dia de maior solicitação e colocar os hidrantes nos condutos principais de diâmetro que permitam, sem grande queda de pressão, a retirada de vazões relativamente elevadas.

Respeitando o traçado em anéis pode ser aplicado o critério de LugeManner, impondo, para a água, um trajeto, que obedeça a menor distância possível entre o reservatório de distribuição e os diversos pontos das canalizações principais.

A NBR 12.218 da ABNT (1994), item 5.6, dá as seguintes orientações para o traçado dos condutos principais e secundários, buscando: as melhores condições de escoamento hidráulico e a garantia da qualidade da água, melhores condições operacionais, redução de custos de implantação e de operação e também a minimização de transtornos à população:

- os condutos principais devem ser localizados em vias públicas, formando preferencialmente, circuitos fechados.
- os condutos secundários devem formar rede malhada, podendo ou não serem interligados nos pontos de cruzamento.
- ao longo de condutos principais, com diâmetro superior a 300 mm, devem ser previstos condutos secundários de distribuição.

A orientação que os condutores principais formem preferencialmente circuitos fechados induz que o traçado em grelha seja transformado em anel, sempre que as distâncias entre as extremidades abertas das tubulações tronco contíguas não sejam excessivas.

Ainda com a finalidade de reduzir os custos de implantação e operação, os condutos principais devem ser localizados preferencialmente em:

- ruas sem pavimentação ou com pavimentação menos onerosa;
- ruas de menor intensidade de trânsito;
- proximidade de grandes consumidores;
- proximidade das áreas e de edifícios que devem ser protegidos contra incêndios.

PRINCE (2006) observa que no posicionamento das tubulações principais devem ser levadas em conta, também, as distâncias máximas que cada uma delas pode ter até os limites de sua área de influência, de modo a garantir o abastecimento destas últimas com uso de tubulações secundárias dotadas do diâmetro mínimo adequado, o qual, por sua vez, é função da densidade populacional e da vazão específica da sua área de atuação.

Em todas essas situações fica evidente que a localização das tubulações tronco no eixo de simetria de suas áreas de influência facilita o atendimento dessas distâncias máximas, além de possibilitar maior equilíbrio para a distribuição de água.

4.19.10 Setores de abastecimento, de medição e de manobra e zona de abastecimento

A NBR 12.218 da ABNT (1994) não apresenta uma definição clara a respeito de setor e zona de abastecimento pois, na realidade, existe certa confusão quanto ao uso desses termos que, muitas vezes, são tomados como semelhantes; entretanto, entre eles há diferenças importantes, as quais são descritas a seguir. Quanto aos termos setor de medição e de manobra, uma vez que são unidades menores e estão inseridas nas zonas e setores de abastecimento, suas definições são de fácil entendimento.

4.19.10.1 Setor de abastecimento

A operação dos sistemas de distribuição de água é tarefa complexa devido à extensão de tubulações e da área abastecida e, geralmente, é necessária a divisão do sistema em setores de abastecimento, para ser possível controlar as vazões e principalmente as pressões. Esta divisão permite efetuar ações de operação e manutenção de forma individualizada ou integrada. Se houver necessidade de isolar um setor de abastecimento para efetuar manutenções é possível retirar de operação apenas o setor em questão, sem causar desabastecimento de água em todo o sistema. Por outro lado, quando em determinado setor houver necessidade de atender uma demanda extra, é possível transferir vazões de outros setores para atender o setor em situação crítica. Portanto, o setor de abastecimento é uma unidade específica da gestão de operação que, para definição de seus limites, leva em consideração aspectos operacionais e, secundariamente, aspectos relativos à vazão e à pressão das áreas a serem abastecidas. A delimitação do setor não necessariamente precisa atender os requisitos de pressões máximas e mínimas estabelecidas pelas normas existentes; porém, quando a topografia da região apresenta desníveis acentuados, que gerem pressões inferiores ou superiores as pressões mínimas e máximas estabelecidas, será necessária a divisão do setor em zonas de abastecimento.

4.19.10.2 Zona de abastecimento ou de pressão

Diz respeito a uma subdivisão dos setores de abastecimento que, necessariamente, devem atender aos requisitos de pressão mínima e máxima prescritas nas normas técnicas. Assim, como os setores, as zonas de abastecimento são definidas a partir da cota do nível de água de um reservatório, pela cota piezométrica resultante de uma estação pressurizadora ou pela cota piezométrica resultante de uma VRP.

O gerenciamento das pressões é fundamental para a operação de sistemas de abastecimento de água, pois as pressões as quais a rede de distribuição de água estiver submetida é um dos principais fatores que influenciam o número de vazamentos e o volume de água perdido por eles. A operação das redes de distribuição de água necessariamente deve ser baseada no atendimento das pressões mínimas especificadas nas horas de maior consumo e na pressão máxima nas horas de pouco ou nenhum consumo. Pressões elevadas podem causar vazamentos e danos nos dispositivos de controle de nível dos reservatórios domiciliares (válvulas de bóia), principalmente nos horários noturnos em que a pressão é máxima (pressão estática). A solução do problema das pressões é o zoneamento piezométrico que deve ser realizado através da divisão dos setores de abastecimento em zonas de abastecimento.

4.19.10.3 Setor de medição

Definido como a parte da rede de distribuição, adequadamente delimitada e passível de individualização, em que é possível monitorar a evolução do consumo de água e, também, avaliar as perdas de carga e de água, por meio de medidores de pressão e de macro e micromedidores de vazão instalados na rede de distribuição. Geralmente, durante a elaboração dos projetos de rede não é dada a devida importância à adequada concepção e delimitação dos setores de manobra e dos setores de medição. Contudo, não há como realizar um eficaz controle de perdas de água sem a existência de setores de manobra e de setores de medição corretamente concebidos, implantados e operados. Também é importante que sua operação seja feita em estreita ligação com o setor comercial e cadastral que, por sua vez, deve ser dotado de sistema de informações e de registros sempre atualizados e mantidos à disposição dos setores técnicos e administrativos.

A Figura 4.29 reproduz o projeto de uma rede de distribuição subdividida em blocos ou setores (conjunto de malhas), concebida para tornar mais eficaz as operações de medição (macromedição) e de manobra, sem prejuízo de suas demais funções. Cada setor é constituído por uma rede de distribuição independente, alimentada por apenas dois pontos, o que minimiza o número de medidores e de válvulas de manobra a instalar e operar (apenas duas unidades de cada por setor). Nesse modelo é evidente a vantagem da divisão de áreas maiores em setores menores com redes de distribuição independentes.

Figura 4.29 - Subdivisão de rede em setores de medição e de manobra.

Fonte: Azevedo Netto et al. (1998).

A NBR 12.218 da ABNT (1994) apresenta algumas recomendações para serem definidos os setores de medição em RDA:

- devem ser observados os critérios e normas do órgão responsável pela operação do respectivo sistema de abastecimento de água;
- deve ser feita, preferencialmente, de modo que consumidores de uma mesma categoria funcional (residencial, comercial ou industrial) e social ou econômica (popular, média ou alta) fiquem contidos em um mesmo setor;
- a alimentação do setor de medição deve ser feita pelo menor número possível de pontos, de modo a minimizar o número de medidores de pressão, de macromedidores de vazão e de válvulas de manobra nele instalados;
- deve ser limitado a 20 o número de válvulas destinadas ao isolamento de cada setor de medição;
- a extensão máxima da rede abrangida por cada setor de medição deve ser de 25 km (este comprimento é mais restritivo do que o comprimento máximo estabelecido para a definição do setor de manobra, como discutido a seguir).

Para PRINCE (2006), os limites máximos propostos para cada setor são discutíveis, pois a extensão máxima da rede abrangida deveria ser compatível com os critérios estabelecidos para a definição dos setores de manobra; porém é muito elevado o número proposto de dispositivos de manobra para pequenas áreas.

Os medidores de vazão e os medidores de pressão a serem utilizados nos setores de medição podem ter previsão de instalação permanente ou contarem com dispositivos para sua inserção provisória, apenas durante a realização das campanhas de medição – a critério do órgão responsável pela operação do serviço de abastecimento de água.

Em localidades maiores ou com topologia de rede complexa será necessário um maior número de setores de medição a serem implantados; entretanto, nas pequenas comunidades, com pouca variação no consumo de água entre os usuários do sistema, é suficiente implantar apenas um setor de medição. Neste caso, a macromedição deverá ser feita nas proximidades do reservatório de distribuição.

4.19.10.4 Setor de manobra

É a menor subdivisão da rede de distribuição e tem por finalidade isolar uma determinada área da rede para realização de obras e serviços de reparos e manutenção, sem que haja necessidade de interromper o abastecimento de água do restante da rede.

Os dispositivos de manobra são colocados nas tubulações de determinado setor para restrição total ou parcial da passagem da água, de acordo com as necessidades. Os principais objetivos dos dispositivos de manobra são:

- Isolar trechos de canalização para reparos;
- Melhorar o abastecimento de determinadas áreas com o fechamento de outras, em casos de incêndio; falta de água; prolongamento da rede etc.;
- Delimitar os setores de abastecimento, isolando as áreas de zonas de pressão distintas.

A NBR 12.218 (ABNT, 1994) estabelece que

- O setor de manobra deve abranger uma área que apresente uma ou mais das seguintes características:
 - Extensão de rede de 7.000 a 35.000 metros;
 - Número de economias entre 600 e 3.000 unidades;
 - Área entre 40.000 m² (4 ha) e 200.000 m² (20 ha).
- O isolamento do setor de manobra deve ser feito pelo acionamento do menor número de válvulas.

Para Prince (2006) essas duas orientações constituem avanço notável em relação à prática tradicional de dotar a rede de distribuição de dispositivos de manobras em cada derivação de tubulação principal e diversas outras em pontos estratégicos das tubulações secundárias, a fim de permitir o isolamento de áreas em que a rede ficava subdividida. Além do custo significativo desses dispositivos de manobra, essa prática tradicional exige, do operador do sistema, um esforço sobre-humano para fechar – e posteriormente abrir – uma quantidade enorme de válvulas. Isto quando ele consegue localizar, acessar ou acionar todas essas válvulas, visto que, não raro, diversas delas costumam apresentar um dos seguintes problemas:

- Omissão de sua localização no cadastro da rede existente, motivada muitas vezes pela falta de atualização cadastral ou pela ocultação indevida das tampas das caixas de acionamento das válvulas, devido às sucessivas obras de calçamento ou de asfaltamento das vias públicas nas quais elas se encontram;
- Impossibilidade de seu acionamento, como consequência do recobrimento irresponsável das tampas de suas caixas de acesso, por obras de calçamento ou de asfaltamento mal feitas;
- Dificuldade de acesso às válvulas defeituosas para seu conserto, em face não só da já mencionada ocultação das tampas de suas caixas de acionamento mas, também, devido à imprópria concepção dessas caixas.

Geralmente o operador usa o menor número possível de dispositivos de manobra para isolar uma área e, quando possível, acaba por usar tão somente a válvula de gaveta localizada na saída do reservatório, mesmo que disso resulte a indesejável paralisação do funcionamento de toda a rede.

Esse tipo de problema pode ser evitado se forem tomados os seguintes cuidados:

- Localizar com mais racionalidade os dispositivos de manobra, seguindo as prescrições da NBR 12.218 da ABNT;
- Usar dispositivos de manobra que permitam fácil acesso às válvulas de gaveta;
- Assegurar a fácil identificação e operação dos dispositivos, através da atualização do cadastro da rede e manutenção contínua.

4.19.11 Efeitos potenciais da setorização de redes de distribuição

4.19.11.1 Efeitos benéficos da setorização

Há várias razões para dividir a rede em zonas mas, essencialmente, o objetivo é conseguir maior controle sobre a distribuição de água. Um exemplo é a prática de dividir a rede em setores de medição ou distritos pitométricos para controle de perdas, de modo que as válvulas dos dispositivos de manobra sejam fechadas em um setor que agrupe de 1000 a 2000 economias e que o abastecimento seja feito através de um único macromedidor. Segundo Ainsworth (2004) qualquer que seja a razão principal para setorizar – existem benefícios potenciais sob o ponto de vista da qualidade da água:

- É mais fácil e rápido isolar um incidente relacionado à qualidade da água (por exemplo, contaminação) em um setor do que em todo o sistema. Se o setor ou zona for pequeno é possível conter o problema em uma pequena área.
- A setorização reduz a extensão e a complexidade de mistura de água de diferentes mananciais na distribuição, apesar do fato que menos consumidores serão regularmente abastecidos com a mesma qualidade da água.
- A interpretação das análises de amostras de água por setor é mais fácil.

4.19.11.2 Efeitos deletérios da setorização

A setorização pode melhorar a qualidade da água em algumas partes da rede e deteriorar a qualidade da água em outras, devido à mudanças no padrão de fluxo na rede. Algumas tubulações terão aumentadas as velocidades, possivelmente alguns depósitos serão ressuspensos e outros terão as velocidades diminuídas, provavelmente permitindo a deposição. A idade da água será menor quando alcançar algumas propriedades e será maior em outros pontos. Nas propriedades em que a idade da água aumentar substancialmente, a qualidade da água pode sofrer deterioração. Embora alguns consumidores logrem benefícios, outros sofrerão com as mudanças; é possível limitar a extensão dos efeitos indesejáveis pelo cuidadoso fechamento de válvulas dos dispositivos de manobra. A criação de novas zonas mortas, com vazão zero ou longos comprimentos com baixas vazões, é de grande interesse pois, próximo às válvulas fechadas a qualidade da água pode ser ruim e poderão surgir deposições em locais com baixa velocidade da água. A instalação de dispositivos de manobra em zonas mortas é importante, principalmente se localizados no limite de setores de manobra. Em trechos em que a delimitação dos setores de manobras é feita por meio de válvulas de gaveta é de hábito, periodicamente, deixá-las abertas para permitir a limpeza da rede. Contudo a água de baixa qualidade existente próxima à válvula de gaveta é carregada para dentro do setor circunvizinho. Uma boa prática é limpar as tubulações das zonas mortas em cada lado da válvula de gaveta antes da sua abertura, usando dispositivos de descarga instalados em cada lado da válvula (AINSWORTH, 2004).

4.19.12 Vazões nas redes de distribuição de água

Nos estudos hidráulicos que envolvem as redes de distribuição de água é importante conhecer a quantidade de água necessária para atender à demanda, e como essa demanda está distribuída espacial e temporalmente em uma comunidade.

A quantidade total de demanda de água em uma comunidade é estimada usando como base o consumo *per capita* (cpc), que é definido como:

$$cpc (L/hab/dia) = \frac{\text{média diária do volume anual consumido por uma dada população} (m^3/ano) \times 1.000 (L/m^3)}{\text{População abastecida} (hab) \times 365 (dias/ano)}$$

O consumo *per capita* corresponde à média diária de água consumida, por um indivíduo, para satisfazer às necessidades domésticas, públicas, comercial e industrial, além das perdas no sistema. A unidade usual do consumo *per capita* é litros por habitante por dia - L/hab/dia.

A quantidade média de água usada no abastecimento público de uma comunidade é muito variável. Magalhães et al. (2001) analisaram os dados de 10 municípios do interior do Estado de São Paulo e encontraram valores próximos de 200 L/hab/dia. Azevedo Netto et al. (1998) apresentaram no Quadro 4.30 a variação histórica dos consumos de água para a cidade de São Paulo, distribuídos conforme o uso dado a ela.

As variações no consumo dependem da localização geográfica, clima, tipo de comunidade, grau de industrialização e outros fatores e particularidades de cada comunidade. Em razão da variedade de fatores que condicionam o consumo de água, a ABNT (1989) apresenta duas formas para determinar o valor do consumo per capita:

- Obtenção de dados históricos de medição dos consumos domésticos, comerciais e industriais;
- Na impossibilidade de determinação desses valores, determinação da demanda a partir de cidades de características semelhantes.

Quadro 4.30 - Consumos per capita segundo vários órgãos.

Consumo (L/hab/dia)	Saturnino de Brito (1905)		CNSOS (1951)		DAE (1957)		SAEC (1972)		SABESP (1990)	
	Total	(%)	Total	(%)	Total	(%)	Total	(%)	Total	(%)
Doméstico	100	45,5	55	42,5	140	46,7	180	45,0	120	40,0
Comercial e Industrial	50	22,7	50	25	100	33,3	150	37,5	90	30,0
Públicos	45	20,4	25	12,5	15	5	20	5	20	6,7
Perdas	25	11,4	40	20	45	15	50	12,5	70	23,3
Total	220	100	200	100	300	100	400	100	300	100

Fonte: Azevedo Netto et al. (1998).

Para verificar como o consumo de água está distribuído em uma comunidade, Mays (2000) considera que o melhor indicador seja o uso e ocupação do solo na área estudada. Em uma comunidade, o melhor meio para determinar a demanda de água através do uso e ocupação do solo é examinar o atual uso da água para os vários tipos de uso do solo. O objetivo da análise do uso atual da água é determinar “padrões de consumo” para os vários tipos de uso e ocupação do solo, que poderiam ser úteis para futuro planejamento ou projeto. Os padrões de consumo são baseados nas características urbanas dos bairros, nos quais normalmente são considerados os seguintes tipos:

- Residencial unifamiliar (algumas comunidades têm zonas de baixa, média e alta densidade);
- Residencial multifamiliar;
- Industrial (normalmente divididos em categorias leve e pesada, e categorias separadas para indústrias com elevado número de funcionários ou grande consumo de água);
- Públicas (normalmente divididas em parques ou espaços abertos e escolas).

A NBR 12.218 faz as seguintes recomendações para a determinação das demandas nas redes de distribuição:

- Devem ser estabelecidas as demandas ou vazões para atender áreas específicas.
- Devem ser consideradas as vazões para as áreas de expansão.
- Devem ser identificados os consumidores singulares e os respectivos consumos, mediante levantamento de campo ou outro procedimento devidamente justificado.
- Não devem ser previstas demandas especiais para combate a incêndios em condições operacionais normais de rede.
- Nos casos em que as demandas especiais para combate a incêndios sejam consideradas no dimensionamento da rede, em condições normais de operação, devem ser justificados.

Geralmente as redes de distribuição de água são calculadas através do uso da vazão de distribuição (Q), dada pela expressão:

$$Q = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot P \cdot q}{86400} \quad \text{equação 4.6}$$

em que:

Q: vazão, l/s

k_1 : coeficiente do dia de maior consumo;

k_2 : coeficiente da hora de maior consumo;

P: população abastecível, hab;

q: consumo per capita de água, l/hab/dia

Nesta expressão, além da demanda (P.q) já discutida são utilizados dois fatores de majoração k_1 e k_2 conhecidos especificamente como fatores de pico. O consumo de água varia com as estações, os dias da semana e com as horas do dia. As flutuações são maiores em pequenas comunidades do que nas grandes cidades e durante um curto período de tempo ao invés de longos períodos de tempo. As variações no consumo de água usualmente são expressas em relação à demanda média diária. Essas relações comumente são denominadas coeficientes de pico. Segundo Mays (2000) os coeficientes de pico deveriam ser obtidos diretamente de informações sobre o consumo atual de cada comunidade.

O coeficiente k_1 , também denominado coeficiente do dia de maior consumo, consiste na razão entre o maior consumo verificado em um ano e o consumo médio diário no mesmo ano, considerando-se as mesmas ligações. Na ausência de determinações específicas a ABNT (1989) recomenda a adoção do valor de 1,2.

O coeficiente k_2 ou coeficiente da hora de maior consumo é a razão entre a máxima vazão horária e a vazão média diária. Na ausência de determinação específica a ABNT (1989) recomenda a adoção do valor 1,5.

A vazão de distribuição obtida a partir da equação 1 pode ser dividida pela extensão da rede ou da área a ser abastecida, e desta forma se obtém a vazão específica, conforme mostram as equações 4.7 e 4.8:

Vazão específica relativa à extensão da rede (q_m):

$$q_m = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot P \cdot q}{86400 \cdot L} \quad \text{equação 4.7}$$

em que:

q_m : vazão de distribuição em marcha, l/s/m;

L: extensão total da rede, m.

Vazão específica relativa à área abastecível (q_d):

$$q_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot P \cdot q}{86400 \cdot A} \quad \text{equação 4.8}$$

em que:

q_d : vazão específica de distribuição, l/s/ha;

A: área abastecível, ha.

Estas duas formas de expressar a vazão de distribuição são particularmente úteis para determinar a demanda em uma determinada área de uma comunidade. Tsutiya (2004) apresenta os padrões de consumo para diversos tipos de ocupação estudados na Região Metropolitana de São Paulo como mostra o Quadro 31.

A NBR 12.218 – item 5 traz algumas condições específicas com relação ao perímetro da área abastecível:

- Devem ser definidos os contornos das diferentes áreas específicas, considerando as seguintes ocupações de solo: residencial, comercial, industrial e especial.
- A área abastecível deve conter as diferentes áreas específicas do perímetro urbano atual e de expansão, de acordo com a legislação de uso e ocupação do solo.
- Na falta de legislação de uso e ocupação do solo, devem ser consideradas como áreas de expansão aquelas que apresentem possibilidade de desenvolvimento promissor.
- Para determinar a vazão concentrada nos pontos selecionados (nós do sistema), basta multiplicar o valor da área a que corresponde cada ponto pela vazão específica dessa área. É possível ocorrerem duas ou mais vazões específicas em uma mesma área de influência de um nó. Nestes casos, a vazão concentrada será a soma das vazões totais de cada uma das parcelas correspondentes às áreas da mesma vazão específica.

Quadro 4.31 - Densidades demográficas e extensões médias de arruamentos por hectare estimados para a Região Metropolitana de São Paulo.

Características urbanas dos bairros	Densidade Demográfica de saturação (hab./ha).	Extensão média de arruamentos por hectare (m/ha)
Bairros residenciais de luxo com lote padrão de 800 m ²	100	150
Bairros residenciais médios com lote padrão de 450 m ²	120	180
Bairros residenciais populares com lote padrão de 250 m ²	150	200
Bairros mistos residencial-comercial da zona central, com predominância de prédios de 3 e 4 pavimentos	300	150
Bairros residenciais da zona central com predominância de edifícios de apartamentos com 10 e 12 pavimentos	450	150
Bairros mistos residencial-comercial-industrial da zona urbana com predominância de comércio e indústrias artesanais e leves.	600	150
Bairros comerciais da zona central com predominância de edifícios de escritórios	1.100	200

Fonte: Tsutiya (2004).

4.19.13 Pressões na rede de distribuição de água

O controle da pressão da rede de distribuição tem papel determinante no bom desempenho técnico e econômico e na satisfação das necessidades e conforto dos consumidores. O controle da pressão assegura um nível de serviço mais uniforme e permite ao operador usar tubos e acessórios mais econômicos, além de reduzir a frequência da ocorrência de rupturas e o nível de perdas físicas (COVAS, 2007).

Covas (2007) salientou que operadores que usam, ou pretendem usar o controle de pressão, como parte de sua estratégia de controle de perdas, deverão considerar os seguintes aspectos:

- a importância de manter as pressões com variações mínimas;
- a relação entre pressão máxima e a taxa de ocorrência de novas fugas;
- a relação entre a pressão e a vazão das fugas existentes;
- a avaliação dos efeitos do controle da pressão na frequência de ocorrência de fugas, na vazão de fuga e no consumo;
- a influência de padrões mínimos de serviço e,
- a topografia.

Segundo Covas e Ramos (1998) a uniformização da pressão em um sistema de distribuição de água poderá ser efetuada através das seguintes ações, conforme ilustrado na Figura 4.30:

- a setorização da rede em patamares de pressão de acordo com a sua topografia e topologia com construção de reservatórios intermediários;
- a instalação de válvulas redutoras de pressão;
- a otimização de esquemas de bombeamento;
- a utilização de grupos com velocidade de rotação variável.

A NBR 12.218/1994 estabelece que a pressão estática máxima na rede de distribuição deve ser de 500 kPa (50 mmH₂O), e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa (10 mm H₂O). Para atender os limites de pressão, a rede deve ser dividida em zonas de pressão (por exemplo: alta, média e baixa), com cada zona de pressão abastecida por um reservatório de distribuição, associada ou não a uma válvula redutora de pressão. Em uma mesma área podem ser implantados reservatórios de

vários tipos, como por exemplo, reservatório apoiado associado a uma estação de bombeamento e reservatório elevado.

Geralmente, para atender à zona alta é utilizado um reservatório elevado ou um *booster*, e para atender à zona média ou baixa, utiliza-se de reservatório apoiado, ou enterrado seguido ou não de válvula redutora de pressão para a zona baixa.

Figura 4.30 - Gestão para redução da pressão em sistemas de distribuição de água.

Fonte: Covas (2007).

Os valores da pressão estática superiores à máxima e da pressão dinâmica inferiores à mínima podem ser aceitos, desde que justificados técnica e economicamente. A antiga norma NB 594/77 (ABNT, 1977) apresentava um critério interessante para as situações em que as pressões máximas e mínimas não eram atendidas:

5.3.2.1 Partes da mesma zona de pressão poderão apresentar pressões estáticas superiores à máxima, e dinâmicas inferiores a mínima fixadas em 5.3.2 (P_{máx} = 500 kPa e P_{min} = 15 kPa), desde que sejam atendidas as seguintes condições:

- a área abastecida com pressão estática superior a 500 kPa poderá corresponder até a 10% da área da zona de pressão, desde que não seja ultrapassada uma pressão de 600 kPa e até 5% da área da zona de pressão, desde que não seja ultrapassada uma pressão de 700 kPa;
- a área abastecida com pressão dinâmica inferior a 150 kPa poderá corresponder até a 10% da área da zona de pressão, desde que a pressão mínima seja superior a 100 kPa e até 5% da área da zona de pressão, desde que a pressão mínima seja superior a 80 kPa e que, além disso, as áreas sujeitas à pressão inferior a 150 kPa apresentem uma pressão estática máxima menor que 150% da Pressão dinâmica mínima.

5.3.2.2 Para núcleos urbanos com população de projeto inferior a 5.000 habitantes, poderão ser adotadas pressões mínimas de 60 kPa sem atender ao disposto em 5.3.2.1.b, desde que assim seja determinado pelo órgão contratante que, neste caso, tomará as providências necessárias para impedir a ocorrência de contaminação da água através da rede.

Para a Norma NBR 12.218, os trechos de condutos principais que não abastecem consumidores ou tubulações secundárias não estão sujeitos aos limites de pressão anteriormente citados, mas devem ser verificados quanto à estabilidade estrutural e à segurança sanitária. As pressões estática máxima e dinâmica mínima referem os níveis de água máximo e mínimo dos reservatórios, respectivamente.

No Quadro 4.32 é apresentado um resumo dos requisitos de pressão usados por várias instituições nos Estados Unidos.

As pressões inferiores à mínima regulamentar podem dificultar o abastecimento de água em quantidade e pressão suficientes aos consumidores; entretanto podem permitir a ocorrência de cavitação, entrada de ar e contaminantes na rede de distribuição (COVAS, 2007).

A entrada e o transporte de contaminantes na rede têm nítida relação com as perdas físicas de água no sistema. Em condições de sobrepressão a água pode sair

pela abertura em que perde água, e em condições de depressão a água retorna pela mesma abertura, introduzindo contaminantes no interior das tubulações. Em contraponto, pode ser produzida alteração da qualidade por outras causas: infiltração devido à proximidade da rede de esgoto sanitário; carga procedente de canais de irrigação, de jardins, de limpeza de ruas etc.

Quadro 4.32 - Resumo dos requerimentos de pressão.

Requerimento	Valor	Localização	Fontes
Pressão mínima	35 psi (241 kPa)	Todos os pontos dentro do sistema de distribuição	AWWA 1996b, USEPA e Califórnia DHS 1989.
Máxima desejável	100 psi (140 kPa)	Todos os pontos ao nível do solo.	Great Lakes Upper Mississippi River Board of State Public Health & Environmental Managers 1997.
Mínima para combater a incêndios	20 psi (140 kPa)	Todos os pontos dentro do sistema de distribuição	AWWA 1996b. USEPA e Califórnia DHS 1989.
Faixa ideal	50 – 75 psi (345 – 517 kPa)	Residências	AWWA 1996b
	36 – 60 psi (241 – 414 kPa)	Todos os pontos dentro do sistema de distribuição	Great Lakes Upper Mississippi River Board of State Public Health & Environmental Managers 1997.
Pressão mínima	20 psi (138 kPa)	Pressão residual mínima sob todas as condições operacionais	AWWA (2004).

Fonte: adaptado de Kiermeyer et al. (2001).

Estas substâncias, potencialmente circulantes pela rede, podem alterar as características físicas da água, inclusive da que é distribuída (JIMÉNEZ , 2007). O principal problema associado à qualidade da água de abastecimento é a possibilidade de contaminação, por fezes humanas ou de animais, durante a distribuição. Os problemas ocorrem especialmente nas situações em regime não

permanente (transientes hidráulicos) quando, por um curto período de tempo, os níveis de pressão nos tubos são negativos, problemas esses que são agravados quando as tubulações de esgoto sanitário ficam próximas às da rede de distribuição de água. A solução para este problema é simples: as tubulações devem estar tão distantes quanto possível uma das outras. Também é preciso cuidados com a água existente próxima as tubulações, pois pode estar contaminada por produtos de atividades humanas; aliás, a própria composição do solo pode ser um contaminante.

Os transientes hidráulicos também podem levar à deterioração da qualidade da água ao desestabilizar os depósitos de material acumulado nas paredes das tubulações. Apesar de valores baixos ou elevados da pressão poderem ser causa de problemas, são mais preocupantes ainda as oscilações de pressão durante os regimes transitórios que aumentam a vazão nos pontos de perda de água existentes e a probabilidade de ocorrência de mais fugas e ruptura.

Segundo Covas (2007):

- I. as perdas aumentam mais com o tempo de duração dos transientes hidráulicos do que com a pressão,
- II. a probabilidade de ocorrência de rupturas aumenta mais com a amplitude de oscilação de pressão do que com o seu valor médio, e
- III. a probabilidade de ocorrência de rupturas aumenta com a frequência de oscilação de pressão mais do que com a sua amplitude.

Ainsworth (2004) cita a existência de várias técnicas usadas para evitar problemas provocados por transientes hidráulicos em redes de distribuição, entre as quais destaca:

- Instalar reservatório hidropneumático (RHO) próximos às bombas e válvulas maiores.
- Controlar a taxa de comutação das bombas para promover a mudança gradual no fluxo de água, de modo que a rede possa absorver o efeito das mudanças no fluxo.
- Operar lentamente válvulas e hidrantes A razão para esta técnica é a mesma para controlar a comutação de bombas.

Todos os dispositivos e técnicas precisam ser corretamente projetados, operados e mantidos.

Outros eventos como combate a incêndio, rompimento e aumento súbito da demanda podem causar oscilações. Programas especializados de computação estão disponíveis para determinar a correta posição e tamanho de um RHO, a taxa de comutação (liga e desliga) de uma bomba e a taxa de operações de uma válvula ou hidrante.

A seguir, são apresentados três métodos que têm sido empregados para aliviar oscilações, porém não são recomendados porque, geralmente, são impraticáveis ou existe risco de ingresso e contaminação nas redes de distribuição:

- Válvulas de alívio de pressão. Esse alívio da água para a atmosfera reduz a pressão, mas não pode resolver o problema de oscilações de pressão baixa.
- Ventosas de duplo efeito. Elas são o oposto das válvulas de alívio e sua função é deixar entrar ar na rede quando a pressão diminui. Essas válvulas limitam pressões baixas, mas não podem aliviar pressões altas.
- Chaminés de Equilíbrio. São torres abertas para a atmosfera, geralmente muito altas, as quais servem para reter água a uma altura equivalente à máxima pressão de carga. Ela atua como um RHO, contudo possui aberturas para o meio externo que podem ser propícias à contaminação da água na rede.

4.19.14 Velocidades mínimas e máximas e diâmetro mínimo

As limitações de velocidade estão associadas à segurança e durabilidade das tubulações assim como ao custo de implantação e operação. As baixas velocidades favorecem a durabilidade no aspecto de abrasão das tubulações e de peças especiais e, ainda, minimizam os efeitos dos transientes hidráulicos ocasionados pelas variações de pressão; entretanto, facilitam o depósito de materiais existentes nas tubulações e aumentam o tempo de trânsito da água na rede. As velocidades altas diminuem o diâmetro da tubulação e, conseqüentemente, o custo de aquisição e assentamento da tubulação; entretanto, provocam aumento da perda de carga, aumento dos custos de energia elétrica nos bombeamentos ou na altura dos reservatórios, causam ruídos nas tubulações, favorecem o desgaste por abrasão e cavitação de peças e válvulas – com conseqüente aumento os custos de manutenção (TSUTIYA, 2004).

Para a norma NBR 12.218/1994 da ABNT a velocidade mínima nas tubulações deve ser de 0,60 m/s, e a máxima de 3,5 m/s; estes limites referem-se às demandas máximas diárias no início e no final da etapa de execução. O valor da velocidade máxima da água em tubulações de rede de distribuição varia conforme o autor e seu país de origem, como mostra o Quadro 4.33.

Quadro 4.33 - Valores máximos de velocidade da água em tubulações de rede de distribuição.

Diâmetro (mm)	Velocidade máxima (m/s)				
	França	EUA	Itália	São Paulo	Fórmula $V=0,5+1,5D$
75	0,70	0,80	0,75	0,60	0,71
100	0,75	0,95	0,80	0,60	0,75
150	0,80	1,20	0,90	0,80	0,83
200	0,90	1,35	1,00	0,90	0,90
250	1,00	1,50	1,10	1,10	0,98
300	1,10	1,65	1,20	1,20	1,05
350	1,20	1,75	1,25	1,30	1,13
400	1,25	1,80	1,35	1,40	1,20
450	1,30	1,90	1,40	1,50	1,28
500	1,40	2,00	1,50	1,60	1,35
600	1,60	2,10	1,70	1,80	1,50
750	1,75	2,15	1,90	-	1,73
1.000	2,00	2,40	2,20	-	2,10

Fonte: Azevedo Netto et al. (1998).

Segundo Azevedo Netto et al. (1998) com o objetivo de limitar, sobretudo a perda de carga nas tubulações – que varia aproximadamente com o quadrado da velocidade – alguns autores preferem estabelecer valores variáveis para a velocidade máxima, em função do diâmetro da tubulação. Assim, os valores variam de 0,70 m/s

para a tubulação de 50 mm de diâmetro até 2,20 m/s para tubulações com diâmetro de 1000 mm. Embora o dimensionamento seja feito por meio de computadores, utilizando ao máximo as perdas de carga disponíveis, o cálculo pode resultar valores elevados para a velocidade da água em tubulações das redes de distribuição (próximo ao limite máximo de 3,5 m/s, quando os desníveis topográficos são acentuados); por isso, tal procedimento deve ser feito com base em previsões de adensamento populacional e de consumos *per capita* de água em longo prazo; ambas as situações que podem sofrer alterações no transcurso do período de alcance do projeto. Assim, não é recomendável trabalhar muito próximo ao limite máximo das condições topográficas disponíveis (MAYS, 2000 e PRINCE, 2006).

Mays (2000) observa que no planejamento ou projeto de sistemas de distribuição de água é importante estabelecer critérios para vários cenários possíveis de operação do sistema. Um sistema pode ser visto como inadequado se não atender aos critérios estabelecidos. A maioria dos sistemas é totalmente capaz de atender as condições médias diárias. Somente quando o sistema é solicitado é que as deficiências começam a aparecer. O grau que o sistema será verdadeiramente solicitado é o ponto crucial para serem estabelecidos os critérios de análise do sistema de distribuição. Na avaliação de um sistema tem sido praxe observar como o sistema se comporta sob os cenários de pico horário de demanda e a demanda máxima diária mais a vazão de incêndio.

Nas cidades maiores, as obras de implantação de tubulações em logradouros públicos costumam causar consideráveis transtornos à população, além de serem dispendiosas. Por isso, é importante que elas não sejam repetidas em um mesmo local em curtos espaços de tempo – ainda que como obras de ampliação do sistema existente. Com base em todas essas considerações, tradicionalmente, têm sido adotados limites máximos de velocidade mais prudentes em redes de distribuição de água. É usual para o dimensionamento da rede, a utilização das velocidades indicadas no Quadro 4.34 e, uma vez conhecido o diâmetro da rede é possível determinar a máxima vazão recomendada.

Para velocidades máximas admissíveis nos projetos, Porto (2000) recomenda a utilização da seguinte equação empírica:

$$V_{m\acute{a}x} = 0,60 + 1,5.D \quad \text{e} \quad V_{m\acute{a}x} \leq 2,0 \text{ m/s} \quad \text{equação 4.4}$$

em que:

$V_{\text{máx}}$: velocidade máxima, m/s

D : diâmetro da tubulação, m.

Quadro 4.34 - Velocidades máximas em função do diâmetro da rede de distribuição.

Diâmetro (mm)	Velocidade máxima (m/s)	Vazão Máxima (l/s)
50	0,50	1,00
75	0,50	2,20
100	0,60	4,70
150	0,80	14,10
200	0,90	28,30
250	1,10	53,90
300	1,20	84,80
350	1,30	125,00
400	1,40	176,00
450	1,50	238,00
500	1,60	314,00
600	1,80	509,00

Fonte: Martins (1966).

Comparando-se as duas recomendações, observa-se que a velocidade máxima calculada pela fórmula proposta por Porto (2000) é maior que a de Martins (1966), até o diâmetro de 200 mm, resultando em vazões máximas maiores. A partir do diâmetro de 250 mm, é observado efeito contrário.

Prince (2006) afirma que os valores do Quadro 4.34 são aplicáveis em situações normais. Caso a área de projeto seja muito acidentada, com valores maiores de carga hidráulica disponíveis é possível exceder esses valores. Em situação oposta, quando a área é muito plana, com valores reduzidos de carga hidráulica disponível, é possível usar valores inferiores aos indicados. Com relação ao Quadro 4.34, quanto maior o diâmetro das tubulações, tanto menor a correspondente perda de carga

unitária máxima, mesmo que sejam admitidas maiores velocidades. Isto ocorre porque as tubulações de maiores diâmetros estendem-se por comprimentos muito maiores do que as dotadas para menores diâmetros – em função de sua maior capacidade de vazão. Como nas redes de distribuição as cargas topograficamente disponíveis costumam ser reduzidas, é fundamental que a elas correspondam coeficientes de perdas de carga unitária menores para as tubulações de maiores comprimentos, ou seja, para as tubulações de maiores diâmetros.

A antiga norma NB 594/1977 (ABNT, 1977) recomendava que os limites máximos de vazão das tubulações secundárias fossem aqueles que, em função do diâmetro do tubo e do material, determinassem perda de carga de 8 m/km. Nas tubulações principais com diâmetro superior a 400 mm o limite máximo de velocidade seria de 2,0 m/s (ABNT, 1977).

4.19.14.1 Diâmetro mínimo

O diâmetro mínimo, a ser adotado para as redes de distribuição de água, deve levar em consideração as perdas de carga e as vazões disponíveis aos usuários.

A NBR 12.218/1994 da ABNT recomenda o diâmetro de 50 mm, para as tubulações secundárias; entretanto, para as tubulações principais não há recomendação alguma. A antiga norma PNB 594/1977 da ABNT recomendava para diâmetro mínimo de tubulações principais de redes malhadas, os seguintes valores:

- Igual a 150 mm quando abastecem zonas comerciais ou zonas residenciais com densidade igual ou superior a 150 hab/ha;
- Igual a 100 mm quando abastecem as demais zonas de núcleos urbanos, cuja população de projeto é superior a 5.000 habitantes;
- Igual a 75 mm para núcleos urbanos cuja população de projeto é igual ou inferior a 5.000 habitantes.

Os valores de diâmetros mínimos recomendados pela norma européia NTE-IFA são apresentadas no Quadro 4.35.

4.19.15 Hidráulica das redes de distribuição de água

4.19.15.1 Introdução

Este item apresenta os principais conceitos hidráulicos aplicados às redes de distribuição de água. Segundo Porto (2000) rede de distribuição de água é o conjunto de tubulações, dispositivos, reservatórios, bombas etc. que tem a finalidade de atender, dentro de condições sanitárias adequadas, de vazão e pressão convenientes, a cada um dos diversos pontos de consumo de uma cidade ou setor de abastecimento. Geralmente, as redes são constituídas por um considerável número de tubulações e dispositivos interconectados formando anéis e ramais. A análise hidráulica das redes está baseada nos conceitos de conservação de massa e de conservação de energia, ou seja, fundamentalmente é a utilização da equação da continuidade que estabelece, na condição de equilíbrio, ser nula a soma algébrica das vazões em cada nó da rede, e a aplicação de uma equação de resistência na forma $\Delta H = k \cdot Q^n$ aos vários trechos. Portanto, vazão, carga piezométrica e de pressão em cada trecho da rede são as principais variáveis que descrevem as condições hidráulicas da rede. O objetivo é determinar as vazões nos trechos e a cotas piezométricas nos nós a partir do conhecimento da vazão de distribuição para o sistema.

Quadro 4.35 - Diâmetro mínimo segundo a norma NTE-IFA

População (habitantes)	Tubulação Secundária (mm)	Tubulação Principal (mm)
≤ 1.000	50	100
1.000 – 6.000	75	125
> 6.000	100	175

Fonte: Gomes (2004).

Geralmente, as demandas de águas são usualmente previstas para cada nó. Um nó é uma conexão entre dois ou mais tubos ou um ponto de saída da rede - em alguns nós a energia total é conhecida, tal como um reservatório.

A carga hidráulica ou piezométrica é a superfície da linha de grade hidráulica ou a carga de pressão (P/γ) mais a carga de elevação (z):

$$h = \frac{p}{\gamma} + z \quad \text{equação 4.9}$$

Pelo fato da velocidade ser relativamente baixa comparada à pressão, as cargas cinéticas e as perdas de carga localizadas são negligenciadas no cálculo da rede (Porto, 2000).

Segundo Porto (2000) dois problemas que envolvem redes podem ser analisados:

- Problema de verificação, que consiste em determinar as vazões nos trechos e as cotas piezométricas nos nós, para uma rede com diâmetros e comprimentos conhecidos – este problema é determinado e tem solução única.
- Problema de determinação dos diâmetros, vazões nos trechos e cotas piezométricas nos nós, com restrições nas velocidades e pressões – este problema admite várias soluções, podendo, porém ser procurada a solução de mínimo custo.

Para cálculo das perdas de carga distribuídas são usadas as fórmulas de Hazen-Williams ou a Universal, cujas expressões são indicadas nas equações 4.10 e 4.11 respectivamente.

$$\text{Fórmula Hazen - Williams: } H_f = \frac{Q^{1,85}}{(0,2785.C)^{1,85} . D^{4,87}} . L \quad \text{equação 4.10}$$

$$\text{Fórmula Universal: } \Delta H = \frac{8.f.Q^2}{\pi^2 . g . D^5} . L \quad \text{equação 4.11}$$

Estudos de Swamee (1993) permitiram explicitar o valor do fator de atrito “f” da Fórmula Universal, a equação 4.12 é válida para escoamento laminar assim como para o escoamento turbulento e de transição:

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{R} \right) + 9,5 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{(3,7.D + \frac{5,74}{R^{0,9}})} \right) - \left(\frac{2.500}{R} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad \text{equação 4.12}$$

em que:

R : número de Reynolds

ε : coeficiente de rugosidade absoluta (mm)

A NBR 12.218 (ABNT, 1994) estabelece que a perda de carga deve ser calculada preferencialmente pela fórmula universal e considerar o efeito do envelhecimento do material das tubulações da rede.

4.19.15.2 Métodos de dimensionamento das redes

Os métodos utilizados no dimensionamento dependem da configuração da rede de distribuição: ramificada ou malhada.

O método para cálculo de redes ramificadas, conhecido também com trecho-a-trecho é aplicável a áreas pequenas, maiores detalhes sobre este método de dimensionamento podem ser obtidos em Prince (2006).

Para o dimensionamento de redes malhadas, geralmente são usados métodos de cálculo iterativos ou soluções aproximadas e, por tentativas, é alcançada a precisão desejada. Os métodos de solução mais empregados são:

- Método da correção de vazões (Hardy-Cross);
- Método da linearização (matricial);
- Método do Gradiente.

Segundo a norma NBR 12.218:1994 da ABNT, o dimensionamento das redes em malha deve ser realizado por métodos de cálculos iterativos, que garantam resíduos máximos de vazão e de carga piezométrica de 0,1 l/s e 0,5 kPa, respectivamente.

Os fundamentos hidráulicos destes métodos estão detalhados em Mays (2000), Tsutiya (2004), Prince (2006) e LNEC (2004).

4.19.16 Tópicos a serem observados em projetos de redes de distribuição de água

Para Ainsworth (2004) os serviços de abastecimento de água devem adotar estratégias de projeto das redes que priorizem questões ligadas à higiene do abastecimento de água. Em particular, tais estratégias precisam especificar como o serviço de abastecimento de água deveria:

- Identificar e prevenir pressões baixas, especialmente pressões negativas, nos sistemas;
- Prevenir transientes hidráulicos nas redes;
- Projetar as redes para minimizar os riscos de contaminação durante atividades operacionais e evitar a estagnação da água;
- Controlar o residual de desinfetante nos sistemas de distribuição de água;
- Avaliar o efeito de diferentes abastecimentos entrando na rede;
- Determinar os benefícios e problemas decorrentes da setorização da rede;
- Selecionar os materiais de construção para que não promovam crescimento microbiano;
- Prevenir conexões cruzadas e retrossifonagem.

Além destas estratégias de caráter geral, outros critérios específicos deveriam ser considerados nos projetos de redes de distribuição de água:

- Fixar pressões mínimas para prevenir intrusão e fornecer adequada vazão em todos os pontos de tomada na rede de distribuição de água.
- Manter pressão na rede de distribuição de água dentro de um máximo que evite rupturas na tubulação e um mínimo que abasteça com vazão adequada para atender as demandas esperadas.
- Minimizar trechos com baixas vazões, zonas mortas e fechar circuitos para prevenir a estagnação da água.
- Não projetar sistemas de distribuição de água com capacidade excessiva a menos que necessário para atender uma demanda futura crescente.
- Evitar situações que podem dar oportunidades para o aparecimento de pressões negativas.
- Instalar válvulas de retenção em locais sujeitos a retrossifonagem.

- Incorporar acessórios e projetos que facilitem a manutenção com um mínimo de interrupção do regime normal de abastecimento e que previna o ingresso de contaminantes em baixas pressões.
- Prevenir Pressões transientes pelo controle da comutação de bombas e a operação de válvulas. Usar análise de transientes para projetar técnicas anti-transientes.
- Evitar – sempre que possível – o uso de válvulas de alívio, ventosas de duplo efeito e chaminés de equilíbrio para aliviar transientes, porque elas podem permitir o ingresso de contaminantes.
- Em abastecimentos intermitentes, identificar particularmente áreas de alto risco e reduzir os perigos. Dar alta prioridade à prevenção de intermitências
- Desempenhar avaliações de risco em todas as atividades operacionais que possam afetar a qualidade da água e assegurar que os procedimentos sejam documentados e que possam ser usados por todos aqueles que estão envolvidos.

a) Controle de residuais do desinfetante

- Reforçar a aplicação de desinfetante nas redes de distribuição de água de modo a evitar doses excessivas no início da rede, porém garantir a existência de residuais nas extremidades da rede.
- Usar modelos hidráulicos para auxiliar na identificação de locais adequados.
- Garantir um local seguro para o equipamento de dosagem.
- Considerar os efeitos da mistura de diferentes mananciais de água na distribuição, ou mudança no abastecimento de água no resultado dos residuais do desinfetante.

b) Setorização da Rede

- Selecionar linha divisória para minimizar zonas mortas e tempos de trânsito, e manter pressões.
- Selecionar linhas divisórias para auxiliar a contenção de incidentes que levem à contaminação da água e se possível, o monitoramento de parâmetros de significado higiênico.
- Instalar descargas de rede em cada lado de válvulas divisórias de setores para limpeza de trechos com zonas mortas, antes de operar as válvulas divisórias.

- Considerar se há depósitos que podem sofrer perturbações pela mudança da velocidade de fluxo ou de direção.

c) Materiais de construção e locação das tubulações

- Adotar um esquema de certificação de materiais para prevenir o uso de materiais que possam promover crescimento microbológico ou que sejam passíveis de promover algum outro risco à saúde dos consumidores.
- Quando instalar redes de água, assegurar a adequada separação entre fontes potenciais de contaminação tais como redes coletoras de esgotos, tubulações de drenagem urbana, tubulações de escoamento de esgoto tratado e campos de drenagem para fossas sépticas.

d) Conexões Cruzadas e Retrossifonagem

- Informar o público (ou encanadores) sobre os perigos das conexões cruzadas, suas responsabilidades e o controle de dispositivos que podem ser usados em casa.
- Especificar um sistema de classificação de perigos e dispositivos de prevenção de retrossifonagem para cada um de seus níveis.
- Adotar uma política para testar e manter dispositivos de proteção de retrossifonagem de acordo com a classificação de perigos e riscos.

4.19.17 Práticas recomendadas para a operação de redes de distribuição de água até aqui

A operação de uma rede não é um conjunto desordenado de atividades tais como abertura/fechamento de válvulas e liga/desliga de bombas; é preciso considerar as interações entre estas atividades. Isto requer uma estratégia geral adaptada para circunstâncias locais e aplicável a todos os problemas de qualidade de água, não apenas aqueles relacionados à qualidade microbológica.

As atividades a serem efetuadas na operação e manutenção são numerosas. Em Brasil (2006), são indicadas as seguintes boas práticas aplicadas para minimizar riscos a saúde em redes de distribuição de água:

- Garantir, no interior das tubulações, pressões dentro dos limites recomendados pela ABNT, ou seja, preferencialmente entre 10 e 50 mca (pressões elevadas favorecem perdas de água, enquanto pressões baixas dificultam o abastecimento domiciliar e facilitam a contaminação de água no interior das tubulações).
- Evitar, ao máximo possível, situações em que as tubulações fiquem vazias ou despressurizadas, para não permitir a entrada de águas poluídas ou contaminadas.
- Dotar a rede de distribuição de registros de descarga, adequadamente localizados, de modo a permitirem as operações de limpeza que se façam necessárias, inclusive para combater a ocorrência de “água colorida” ou a formação de biofilme que favorece o desenvolvimento de microrganismos patogênicos oportunistas no interior das tubulações.
- Limitar, ao mínimo incontornável, os trechos de rede de distribuição que não estejam interligados a outras tubulações, ou seja, que favoreçam a ocorrência de baixas velocidades, situação condenável por possibilitar o acúmulo de resíduos, com conseqüente formação de “água colorida” e de biofilmes, bem como o consumo do residual de cloro livre.
- Substituir as tubulações muito antigas que sejam responsáveis pela freqüente formação de “água colorida” ou pelo comprometimento da qualidade bacteriológica da água distribuída.
- Evitar a imersão das tubulações em águas de qualidade inferior.
- Assentar as tubulações em valas situadas, sempre que possível, a mais de 3,0 metros das canalizações de esgoto (nos cruzamentos a tubulação de esgoto deve estar sempre em posição inferior, com distância de pelo menos 0,5 metros em relação à tubulação de água, que deve ser dotada de junta de borracha estanque). Quando não for possível guardar essas distâncias, deverão ser executadas, obras especiais tais como o envolvimento da tubulação de esgoto com concreto ou a adoção de tubos de esgotos com junta de borracha estanque.
- Garantir que as tubulações estejam protegidas contra poluição ou contaminação durante serviços de reparos, substituições, remanejamentos ou prolongamentos.
- Desinfetar as tubulações após serviços de construção ou de reparos, conforme prescreve ABNT, (1987).

Além destas práticas deve ser acrescentado, também, a verificação da estanqueidade das redes de distribuição de água após o seu assentamento, porém antes de ser colocada em operação, conforme prescreve norma NBR 9650 da ABNT (ABNT, 1986).

A USEPA (2006d) sugere uma série de rotinas e serviços de manutenção preventiva para redes em operação normal, as quais estão listadas no Quadro 4.36.

Ainsworth (2004) relaciona as seguintes atividades a serem executadas para ser obtida uma boa operação das redes de distribuição de água:

- Avaliação de risco de cada atividade (por exemplo, operação de válvulas) execução e identificação das ações para minimizar riscos.
- Procedimentos para limpeza de redes primárias, revestimentos de tubulações, reparos e restauração.
- Coordenação com serviços de combate a incêndios para identificar as áreas que podem apresentar risco de perda de pressão.
- Procedimentos para operação de válvulas, hidrantes e outros acessórios. Identificação dos acessórios por seu tipo, estado e pelas operações permitidas.
- Exigências para projeto de reservatórios, operação e manutenção.
- Procedimentos para mudança ou mistura de suprimentos na distribuição.
- Otimização do tratamento de água (incluindo análise completa custo/benefício) para que produza água de boa qualidade e que minimize o potencial de crescimento bacteriano na rede de distribuição de água.
- Colaboração entre as equipes de operação e redução de perdas para a rede de distribuição ser operada com baixas pressões, porém acima das mínimas previstas em norma.
- Boa qualidade na manutenção de forma tal que os problemas possam ser investigados e que lições sejam aprendidas.
- Manter os órgãos de defesa do consumidor informados das condições e atividades realizadas na rede e, em situações de emergência, quando houver problemas de qualidade da água fornecer orientações, a água seja fervida água antes de seu consumo.

Quadro 4.36 - Rotinas e serviços de manutenção preventiva a serem aplicados em redes de distribuição de água.

Serviço	Benefícios	Frequência sugerida
Manobra das válvulas existentes	Melhoria da confiabilidade. Familiarizar os funcionários com a localização das válvulas. Identificar válvulas inoperantes. Localizar dispositivos de descarga com acesso obstruído Garantir o isolamento de setores de distribuição quando necessário	Anualmente
Descargas na rede	Remover água estagnada das tubulações. Reduzir a formação de biofilmes e acúmulo de sedimentos. Recuperar o residual do desinfetante	Anualmente para toda a rede e mais frequentemente em áreas com problemas com a qualidade da água
Rotina de monitoramento da qualidade da água	Fornecer informação sobre a potencial contaminação da água bruta e tratada final. Auxiliar a determinar a efetividade do tratamento. Ajudar a garantir a compatibilidade da água em relação aos materiais.	Varia de acordo com a legislação sanitária vigente no Estado*.
Inspeção e descarga dos hidrantes e válvulas.	Garantir que hidrantes e válvulas são operáveis e que nenhuma perda de água ocorre. Garantir que hidrantes e válvulas não estão suscetíveis a adulterações	Uma ou duas vezes por ano
Manutenção das pressões na faixa de operação da rede de distribuição	Reduz o risco de contaminação via retrossifonagem. Ajuda seu sistema a fornecer um melhor serviço aos consumidores. Reduzir os danos a infra-estrutura devido a pressões excessivas. Fornecer adequada vazão para combate a incêndio	Continuamente
Rastrear a água não contabilizada	Pode reduzir os custos com tratamento e bombeamento. Ajuda a identificar vazamentos, quebras, roubo de água, e medidores com defeito.	Diariamente no manancial. Mensalmente ou durante as leituras dos medidores de rotina nas ligações dos consumidores.
Testar a presença de excesso de biofilmes	Indica a presença de residual de desinfetante inadequado, possível níveis elevados de subprodutos da desinfecção e água estagnada.	Mensalmente em conjunto com amostras de Coliformes Totais.
Monitoramento da corrosão	Identificar a necessidade de modificar o tratamento ou efetuar descargas na rede.	Anualmente
Verificação quanto ao desgaste normal de partes mecânicas de bombas e válvulas de controle.	Pode aumentar a vida útil dos componentes da infra-estrutura. Ajuda a evitar custos operacionais desnecessários de substituição ou reparo.	De acordo com as recomendações dos fabricantes.

* No Brasil deverá ser atendido a Portaria 1.469 de 23/10/2003 (Padrões de Potabilidade).

Fonte: adaptado de USEPA (2006d).

4.20 QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

A qualidade pode ser degradada no trajeto entre a unidade de tratamento e a torneira do consumidor devido às reações químicas e biológicas entre a água e os materiais constituintes do sistema de distribuição, e por contaminações externas que podem ocorrer devido à quebras de tubulações, vazamentos associados a transientes hidráulicos, inadequada manutenção de reservatórios e outros fatores.

A principal força motriz da gestão dos sistemas de distribuição de água é a proteção da saúde dos consumidores, entretanto é também importante considerar fatores que causam baixa qualidade estética ou que aumentam os custos da distribuição de água (NRC, 2006).

Como o objetivo deste estudo está focado nas características microbiológicas da água, serão descritos detalhadamente os fatores a elas relacionados.

4.20.1 Qualidade microbiológica das águas em sistemas de distribuição

O sistema de distribuição é um excelente habitat para microrganismos que se utilizam de nutrientes orgânicos e inorgânicos presentes nas tubulações e na água. O principal objetivo da gestão de sistemas de distribuição é prevenir a contaminação da rede com material fecal, que pode estar presente próximo, na superfície dos tubos ou no solo que os envolvem. Segundo Payment e Robertson (2004) as bactérias presentes na água e no solo são inofensivas, mas elas são a base da cadeia alimentar de outros organismos de vida livre como fungos, protozoários, vermes e crustáceos, como mostra a Figura 4.31.

Esses organismos podem estar presentes no sistema de distribuição, mesmo em presença de residuais de desinfetante, e ainda sim a água pode não apresentar riscos à saúde. Entretanto, excessiva atividade microbiana pode levar à deterioração da qualidade estética – água com cor, gosto e odor – e interferir com os métodos usados no monitoramento de parâmetros de interesse à saúde pública. Portanto, pode ser necessário tratamento adicional para controlar a qualidade da água tratada em um sistema de distribuição, para prevenir o excessivo crescimento microbiano e de formas de vida maiores (GELDREICH, 1990).

Figura 4.31 - Interações tróficas em sistemas de distribuição de água.

Fonte: adaptado de Evins (2004).

Manter a boa qualidade da água na distribuição também depende do projeto e operação do sistema de distribuição e requer manutenção e procedimentos de inspeção para prevenir a contaminação e, também, para remover e prevenir o acúmulo de depósitos internos. A execução de serviços de manutenção vinculados ao contato com a água ou com as superfícies internas das tubulações aumentam o risco de contaminação. Tais situações requerem que o trabalho tenha práticas higiênicas bem documentadas, as quais também são importantes para prevenção de problemas como água com cor, odor e gosto. A provisão de água que seja esteticamente agradável e segura é importante porque desencoraja o consumo de fontes alternativas que podem não ser seguras, mesmo que aparentem sê-las (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

4.20.1.1 Microrganismos em sistemas de distribuição de água

A primeira barreira para prevenir a entrada de microrganismos no sistema de abastecimento de água é a proteção do manancial. A eficaz proteção do manancial inclui construção de curvas de nível e controle do uso e ocupação do solo da bacia na qual o manancial está inserido. Por sua vez, esta medida reduz a dependência do processo de tratamento para garantir água de qualidade aceitável (TARDELLI FILHO, 1977).

Quando é utilizada água subterrânea devem ser planejadas medidas de proteção do manancial para prevenir a contaminação por agentes patogênicos. As águas subterrâneas de alta qualidade são caracterizadas por conterem menos de um coliforme por 100 mL e uma população de bactérias heterotróficas freqüentemente menor que 10 organismos por mililitro. A qualidade microbiológica mostra pouca flutuação, por conta da proteção do aquífero subterrâneo em relação à contaminação superficial (GELDREICH, 1996). Entretanto, as águas subterrâneas não estão livres da contaminação superficial e nelas podem ser misturadas águas do escoamento superficial contendo fertilizantes ou proveniente de aterros sanitários inadequadamente isolados, que podem introduzir na água uma variedade de produtos químicos. Em tais situações, as populações bacterianas na água subterrânea tornam-se excessivas, resultando em 1.000 até 10.000 bactérias heterotróficas por mililitro. Águas subterrâneas com alta concentração de ferro ou compostos sulfúricos fornecem nutrientes para uma variedade de bactérias indesejáveis que podem vir a ser muito numerosas mesmo para pequenas vazões de um poço. Em sistemas de abastecimento nos quais a água subterrânea não é protegida da contaminação por escoamento superficial de enxurradas e esgotos e nem exista barreira sanitária como a desinfecção, por exemplo, poderá haver introdução de coliformes e agentes patogênicos na rede.

Os mananciais de água superficiais estão sujeitos a contaminantes microbiológicos originados do escoamento superficial na bacia hidrográfica e das descargas à montante de resíduos domésticos e industriais. Os represamentos e lagos, apesar de disponibilizarem água em quantidade e terem capacidade de diluição da contaminação e, portanto, reduzirem as flutuações de densidade, apresentam alguns perigos a serem avaliados. A circulação da água nos lagos, florescimento e decaimento das algas e a concentração de nutrientes deterioram a qualidade de água e introduzem novos organismos, inclusive patogênicos na captação de água do manancial, os quais podem passar através dos sistemas de tratamento inadequadamente operados (BRANCO e ROCHA, 1977; GELDREICH, 1990).

A proteção do manancial é particularmente importante em pequenos sistemas de abastecimento de água operados pela própria comunidade que, geralmente, não utiliza qualquer forma de tratamento para a água. Neste caso a prevenção da entrada de microrganismos no início do sistema de distribuição tem por base a confiança em medidas de proteção do manancial bem planejadas, operadas e mantidas; onde

possíveis falhas provavelmente resultam em contaminação do abastecimento de água (MORENO, 1995). A proteção sanitária da bacia hidrográfica a qual pertence o manancial, tem enorme importância no controle de agentes patogênicos nos abastecimentos comunitários que usam água superficial tratada (BRANCO, 1986, HELLARD et al., 2001).

A água que deixa as estações de tratamento (ETA) deveria atender a critérios rigorosos para garantir que agentes patogênicos foram reduzidos a níveis aceitáveis de risco. O objetivo do tratamento não é fornecer água estéril para o consumidor, entretanto a água que deixa a ETA deve conter níveis muito baixos de microrganismos heterotróficos e aeróbios formadores de esporos. O baixo nível desses microrganismos indica que os processos de tratamento, inclusive a desinfecção, foram eficazes na remoção ou inativação da maioria dos agentes patogênicos. Não é possível produzir água tratada de forma que a ETA tenha menos de 10 unidades formadoras de colônias (UFC) de microrganismos heterotróficos por mililitro. Neste nível de tratamento estarão ausentes coliformes totais, coliformes termotolerantes, como a *E. coli*. Esses microrganismos são muito menos resistentes à desinfecção do que outros microrganismos heterotróficos ou aeróbios formadores de esporos, e sua presença deveria ser uma indicação imediata de uma inaceitável qualidade de água (BRANCO, 1986; PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

Os serviços de abastecimento de água que usam uma única barreira (desinfecção) para o tratamento da água superficial normalmente não conseguem evitar que uma variedade de organismos como algas, protozoários, vermes multicelulares e larvas de insetos, penetrem nos sistemas de distribuição. Muitos desses organismos não são inativados pela concentração do desinfetante em tempo de contato desejável para o controle de coliformes e vírus; porém eles podem ser inativados pela falta de luz solar (algas) ou habitat adverso (vermes multicelulares e larvas de insetos). A desinfecção é também menos eficaz em uma variedade de organismos de vida livre que inclui bactérias formadoras de esporos (*Clostridium*), organismos gram-positivos, bactérias pigmentadas, fungos, leveduras e cistos de protozoários. Alguns desses organismos mais resistentes podem ser encontrados no ambiente das tubulações (GELDREICH, 1996).

A filtração é a mais importante barreira para os cistos de protozoários (*Entamoeba*, *Giardia*, *Cryptosporidium*); é mais efetiva também do que o usual: produto concentração, residual de desinfetante, e tempo de contato. Os sistemas de

filtração inadequadamente operados têm sido responsáveis por liberar cistos retidos nos leitos (*Giardia* e *Cryptosporidium*) resultado de procedimentos inadequados de lavagem dos filtros ou traspasse. Filtros de areia podem se tornar infestados por nematóides de rios ou de sedimentos que se abrigam nessas unidades de tratamento e no sistema de distribuição. Apesar dos nematóides não serem patogênicos, eles podem abrigar agentes patogênicos que são viáveis no seu interior e que foram ingeridos durante sua passagem pelo manancial ou meio filtrante.

Os processos de tratamento de água bem operados são uma barreira efetiva para impedir que coliformes e microrganismos patogênicos alcancem o sistema de distribuição. Contudo, isto não impede a passagem de organismos não patogênicos através da cadeia de tratamento. Geldreich (1996) relata que investigações sobre as populações de bactérias heterotróficas revelaram que cerca de 4 logs (99,99%), para muitos desses organismos, é a maior redução que pode ocorrer através dos processos de tratamento convencional (armazenamento, cloração, coagulação, decantação e filtração rápida em areia).

Por outro lado, várias espécies de coliformes (*Klebsiella*, *Enterobacter*, e *Citrobacter*) foram encontradas colonizando filtros com Carvão ativado granular (CAG) cujas partículas foram detectadas na água final de várias estações de tratamento de água. Segundo Geldreich (1996), mais de 17% das amostras de água final examinadas, em nove instalações de tratamento, continham partículas finas colonizadas com bactérias coliformes. Essas observações confirmam que os finos do carvão ativado fornecem um mecanismo de transporte pelos quais microrganismos penetram na barreira de tratamento e alcançam o sistema de distribuição. Outros mecanismos que, dentro do sistema de distribuição, podem estar envolvidos no transporte protegido de bactérias incluem agregados ou grupo de organismos liberados dos sítios de colonização em GAC da filtração e pela passagem de flocos de coagulantes.

Geldreich (1990) descreve que as densidades de bactérias heterotróficas na água distribuída em sistemas de tratamento de ciclo completo que usavam CAG eram significativamente maiores do que em águas de sistemas de tratamento similar que não empregavam CAG. Na rede de distribuição, a persistência e o recrescimento desses organismos são influenciados pelos mesmos fatores que estão relacionados à eficácia do desinfetante: localização do habitat, temperatura da água, pH e concentrações de carvão orgânico assimilável.

Segundo Payment e Robertson (2004) existem numerosos relatos da presença de agentes patogênicos na água tratada usualmente relacionados à água de mananciais superficiais contaminados ou à água subterrânea afetada por águas superficiais contaminadas. As razões para esta ocorrência estão ligadas à:

- Elevada contaminação do manancial;
- Ineficiente coagulação;
- Ineficiente filtração – como falhas na filtração, inapropriada reciclagem de água de lavagem dos filtros;
- Inadequada desinfecção da água filtrada devido à falta residual de desinfetante e pequeno tempo de contato.

Os microrganismos patogênicos que saem da unidade de tratamento e entram no sistema de distribuição podem sobreviver e se tornar importante fonte de doenças endêmicas na população (PAYMENT et al., 1977 e 1991). Portanto, a seleção de apropriados processos para a remoção de agentes patogênicos e a adoção dos princípios preconizados nos Planos de Segurança da Água na operação das barreiras sanitárias são importantes medidas sanitárias para garantir o seguro abastecimento de água para a população (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

Embora os processos de tratamento da água sejam capazes de reduzir os microrganismos heterotróficos para menos de 10 UFC/ml, a água da maioria das unidades de tratamento normalmente contém números maiores de microrganismos. Alguns organismos viáveis permanecem na água e multiplicam-se se houver disponibilidade de nutrientes, especialmente nas águas com temperaturas superiores a 15°C; o que pode levar à formação de biofilmes nas superfícies internas. Os SDA mais antigos podem conter depósitos e sedimentos, como produto da corrosão interna de tubos metálicos ou do insuficiente tratamento para a água e, portanto, podem conter muitos microrganismos. A multiplicação de bactérias em um sistema de distribuição de água é determinada pela disponibilidade de nutrientes orgânicos e inorgânicos na massa líquida e nos depósitos formados dentro das tubulações.

Para Geldreich (1990), os organismos heterotróficos presentes nos sistemas de abastecimento de água, freqüentemente oriundos dos mananciais, sobrevivem aos rigores dos processos de tratamento e se adaptam ao ambiente das redes de distribuição de água. Esta população diversificada de organismos heterotróficos

sobrevive graças à existência de traços de nutrientes orgânicos diluídos na água ou concentrados nos reservatórios e nos sedimentos que se acumulam nos tubos.

A complexidade e as diversas estruturas que compõem a rede de distribuição podem criar locais suscetíveis ao acúmulo de sedimentos, à expansão de tubérculos e ao desenvolvimento microbiano. O sedimento acumulado nesses sítios é, principalmente, produto da corrosão e dos aditivos inibidores da corrosão. Áreas de baixa velocidade da água podem propiciar o depósito de partículas originadas de água não filtrada, de coagulantes não estáveis, de finos de carvão ativado e de fragmentos biológicos (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

A turbidez na água final também contribui para acúmulo de sedimentos nas pontas mortas da rede, na matriz da camada fina porosa e na formação dos tubérculos. A turbidez é uma medida indireta da matéria particulada na água, porém ela não fornece informação sobre tipo, número, e tamanho das partículas detectadas. O monitoramento da turbidez no sistema de distribuição é uma boa prática de controle da qualidade. Valores maiores que 5 UNT podem indicar a necessidade de descargas na rede de distribuição e, ainda, a necessidade de serem pesquisadas áreas de corrosão na tubulação que precisem ser controladas.

Geralmente, as partículas inorgânicas tais como argila e floco, são locais propícios para a adesão de uma variedade de organismos. Entretanto, essas partículas têm pequena capacidade para proteger os microrganismos da ação do desinfetante devido à ausência de substâncias orgânicas. Assim, é pouco viável que os microrganismos sejam transportados nesse tipo de partículas para sítios que permitam seu desenvolvimento no sistema de distribuição.

Por outro lado, as partículas orgânicas e massas de células algais em florescimentos sazonais podem ser um veículo de transporte protegido para os microrganismos através das barreiras de tratamento, inclusive a desinfecção. Neste caso, as partículas orgânicas de interesse são restos de células fecais, sólidos de esgotos sanitários, incluindo agregados de bactérias e vírus, emaranhado protetivo de células algais e de finos de carvão ativado que fornecem sítios de adesão e proteção para as bactérias.

A ocorrência de organismos biológicos maiores e mais complexos, incluindo crustáceos, nematóides, vermes chatos, ácaros da água e larvas de insetos não é reconhecida como um problema de qualidade para a água distribuída. Embora esses organismos entrem na água através do manancial e a maioria seja removida pelos

vários processos de tratamento, alguns deles podem se desenvolver nos leitos dos filtros e serem liberados para o sistema de distribuição, após sobreviverem à desinfecção. Uma vez na rede, esses invertebrados podem abrigar e proteger coliformes e microrganismos patogênicos do contato do desinfetante. A bactéria ingerida pode sobreviver e multiplicar-se no interior do invertebrado hospedeiro e, posteriormente, pode ser liberada quando do rompimento da célula do hospedeiro. Isto pode explicar alguns episódios de passagem de coliformes e outras bactérias pelas barreiras do tratamento e sua liberação continuada na rede de distribuição (GELDREICH, 1990).

Os sítios que são colonizados com êxito quase sempre são formados por uma mistura de organismos aderidos uns aos outros com as partículas e estruturas porosas dos tubérculos ou sedimentos presentes nos tubos. Entre estes organismos são encontradas bactérias gram-negativas (coliformes, *Pseudomonas* etc.), bactérias formadoras de esporos, organismos pigmentados, actinomicetos, fungos e leveduras. Além desses também podem ser encontrados vários protozoários e nematóides que se alimentam dessa população microbiana abrigada em áreas protegidas devido à baixas velocidades da água ou nas pontas mortas da rede (USEPA, 2002b).

Segundo Payment e Robertson (2004) a maioria dos microrganismos que se desenvolvem dentro das redes de distribuição são inofensivos, exceção feita ao gênero *Legionella* e *Mycobacterium avium complex*. A bactéria *M. avium complex*, agente patogênico oportunista do homem, produz sintomas similares ao do *M. tuberculosis*. Eles são ubíquos no solo, alimentos e água; têm sido encontrados nos biofilmes e são resistentes à desinfecção – algumas cepas encontradas no ambiente têm sido mencionadas como causa de doenças em pacientes imunocomprometidos.

Não existe relato de problemas de saúde pública envolvendo a ingestão de agentes patogênicos oportunistas – por exemplo *Aeromonas* e *Pseudomonas* – usualmente encontrados nos biofilmes de redes de distribuição de água, pois as cepas presentes na água não têm o mesmo padrão genético daquelas encontradas em casos clínicos de infecções gastrointestinais (HAVELAAR et al., 1992). Embora esses organismos não tenham relação com doenças veiculadas pela água, *Pseudomonas* foi identificada como a causa de várias infecções de pele associadas à água de piscinas e instalações aquáticas (WHO, 2000b).

Biofilmes, sedimentos e produtos da corrosão podem abrigar microrganismos patogênicos introduzidos através do ineficiente tratamento ou, então, de falhas na

integridade do sistema de distribuição de água. Escondidos nos sedimentos ou envoltos nos biofilmes, os agentes patogênicos podem se desprender durante as operações de reparos ou limpeza, ou devido à erosão causada pela súbita mudança na vazão. Sua sobrevivência depende da natureza e da atividade microbiana no biofilme. Poucas espécies de agentes patogênicos conseguem se multiplicar sem condições favoráveis como temperatura elevada da água e suficiente nutrientes (LeCHEVALLIER, 2003).

A atividade biológica nos sistemas de distribuição normalmente é mais intensa na interface entre a água e os materiais que compõem a estrutura física de distribuição, e no interior dos depósitos formados por partículas e materiais resultantes da corrosão.

Para colonizar as superfícies em contato com uma corrente de água, as bactérias precisam aderir tenazmente. Elas fazem isso por meio de uma massa entrelaçada de fibras conhecidas como *glycocalyx* que se estendem da membrana da célula e aderem às superfícies vizinhas ou outras bactérias. Essas adesões do *glycocalyx* as camadas de sedimentos, tubérculos, juntas de tubos, e superfícies rugosas das paredes impedem que a maioria das células individuais das microcolonias sejam varridas pelas forças de cisalhamento da corrente líquida. Pelo fato de essas massas de fibras serem materiais polissacarídeos, elas também servem como barreira protetora contra os efeitos letais dos residuais de desinfetantes (GELDREICH, 1996).

Nem todas as áreas da rede de distribuição são favoráveis à colonização microbiana. Altas velocidades da água em tubos de seções lisas tornam a adesão microbiana difícil, reduzem a adsorção de nutrientes e fornecem pouca ou nenhuma proteção microbiana para a exposição ao desinfetante. Ao contrário, o acúmulo de sedimentos, desenvolvimento de tubérculos, trechos com baixas vazões, pontas mortas, e a rugosidade das paredes das seções dos tubos e juntas de conexões são os principais sítios de colonização microbiana. Portanto, o crescimento de biofilmes depende da natureza do material, das condições hidráulicas e das características físicas e químicas da água (CAMPER, 1996).

A colonização ocorre através do contato inicial de certos microrganismos, geralmente bactérias e o novo material e, logo em seguida, através da integração de vários níveis e espécies que podem coabitar e permutar nutrientes em função das condições externas. A formação do biofilme ou a colonização microbiana de

depósitos de matéria particulada nas tubulações serve como fonte de alimento para predadores tais como protozoários que, por sua vez, podem ser predados por animais maiores como *Asellus aquaticus* (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

Segundo Levi (2004) os principais fatores que controlam o crescimento e desenvolvimento microbiano em sistemas de distribuição, indicados na Figura 4.32, são discutidos abaixo:

- Temperatura – se nutrientes estão disponíveis, a atividade microbiana aumenta significativamente em água de temperatura acima de 15°C, na ausência de residual de desinfetante na água. O crescimento microbiano está condicionado às cepas bacterianas que rapidamente se ajustam à fontes limitadas de nutrientes e, também, à elevações da temperatura da água. A temperatura da água acima de 10° C acelera o crescimento de organismos adaptados aos lentos tempos de geração. As baixas temperaturas da água resultam delicado balanço entre o desenvolvimento de novas células e morte de células velhas. Segundo Geldreich (1990) os dados disponíveis de sistemas de abastecimento de água localizados em áreas geográficas de pronunciada mudança de temperatura sazonal sugerem que o recrescimento de organismos heterotróficos é mais pronunciado do que os coliformes e que, no verão podem ocorrer abruptas oscilações na densidade de organismos heterotróficos.

Figura 4.32 - Fatores que influenciam alterações microbiológicas nos sistemas de distribuição de água.

Fonte: adaptado de Levi (2004).

- pH – a maioria dos microrganismos sobrevive em valores de pH normalmente encontrado na água distribuída.
- Oxigênio – águas para consumo humano normalmente são bem aeradas, o que reduz o risco de corrosão induzida por microrganismos, denitrificação, produção de sulfeto e de outras consequências da estagnação anaeróbia. Contudo, o oxigênio pode não penetrar nas camadas mais profundas dos biofilmes ou dos tubérculos e de outros depósitos e sedimentos, nos quais as bactérias redutoras de sulfato podem proliferar.
- Nutrientes – embora alguns microrganismos possam sobreviver com elementos minerais, eles são pouco significativos em redes de distribuição. Entretanto, muitos microrganismos somente proliferam se houver suficiente matéria orgânica dissolvida ou particulada contendo nitrogênio, carbono ou fósforo. Embora grande parte dos nutrientes seja removida através do tratamento convencional são necessários tratamentos refinados quando há necessidade de maior redução de traços orgânicos residuais. A aplicação de adsorção por CAG ou outros processos de tratamento equivalentes para controlar os precursores de subprodutos da desinfecção, também diminuirá as concentrações de nutrientes bacterianos disponíveis e, desta forma, fornecerá menor oportunidade para desenvolvimento do biofilme microbiano e recrescimento de coliformes. Naquelas instalações de água que usam a desinfecção como único processo de tratamento para água de manancial de superfície relativamente limpa, deve sempre ser avaliada a possibilidade de uma ameaça sazonal de contribuição de compostos orgânicos devido à lignina natural, florescimentos de algas e recirculação de sedimentos do fundo durante a desestratificação de lagos. Essa matéria orgânica se acumula na rede de distribuição e serve de nutriente para grande variedade de bactérias aquáticas. O sucesso na redução da persistência microbiana em redes somente é alcançado com a maior diminuição da porção orgânica dos nutrientes essenciais.

Os vírus e protozoários são obrigatoriamente parasitas e necessitam um hospedeiro humano ou animal para poderem se multiplicar. Se entrarem no sistema de distribuição, tais organismos podem sobreviver apenas por um período limitado de tempo; a dose infectante para hospedeiros humanos provavelmente será alcançada somente se houver uma concentração de parasitas nos depósitos. Este acúmulo pode

ocorrer devido à penetração de microrganismos através de conexões cruzadas, retrossifonagem ou contaminação (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

Embora, atualmente, não exista relato de efeitos à saúde diretamente atribuídos à sobrevivência de agentes patogênicos de longo prazo dentro de sistemas de distribuição, tais organismos podem persistir dentro de biofilmes e, por isso, apresentam potencial interesse para a saúde dos consumidores. Os biofilmes contêm muitos sítios de absorção que podem reter ou acumular materiais contaminantes orgânicos e inorgânicos, bem como matéria particulada e coloidal (USEPA, 2002b). Dentro dos biofilmes os agentes patogênicos microbianos podem ser protegidos das tensões biológicas, físicas, químicas e ambientais, incluindo: predação, dessecação e mudanças ou fluxos no ambiente (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

Os problemas, portanto, acontecem no sistema de distribuição quando biofilmes associados a agentes patogênicos se desprendem de outro substrato ou da matriz do biofilme devido a processos físicos, químicos ou biológicos. A biomassa despregada pode comprometer a qualidade microbiológica do sistema de distribuição por permitir contínua contaminação da massa líquida através da liberação de agentes patogênicos e microrganismos indicadores aderidos. Esses microrganismos mobilizados, que podem existir em concentrações maiores que a dose infectante, têm potencial para alcançar os consumidores através da ingestão de alimento e água contaminada, inalação de aerossóis ou falhas na pele (USEPA, 2002b). Em um modelo de risco desenvolvido para distribuição de água de reuso há evidências que sugerem que – mesmo durante a operação em condições normais – os vírus entéricos podem ficar acumulados nos biofilmes existentes nas tubulações da rede de distribuição em quantidade suficiente para apresentar risco à saúde dos consumidores. Segundo Payment e Robertson (2004), estes estudos corroboram a opinião que prevenir o aparecimento de depósitos e biofilmes em um sistema de distribuição seja importante componente de um PSA.

4.20.2 Controle da qualidade microbiológica da água em sistemas de distribuição

Para assegurar ao consumidor a distribuição de água com alta qualidade, os serviços de abastecimento público de água precisam estar permanentemente vigilantes com possíveis intrusões que podem contaminar a rede de distribuição e promover degradação microbiológica. Esta tarefa é complexa devido à própria

natureza do sistema de distribuição: rede de tubulações, hidrantes, válvulas, sistemas de bombeamento, unidades de desinfecção, reservatórios etc. (GELDREICH, 1996).

A prática corrente é usar desinfetante residual para controlar o crescimento de microrganismos nos sistemas de distribuição, atuar como barreira final e auxiliar na manutenção da segurança microbiológica da água. As concentrações residuais normalmente usadas somente inativam microrganismos menos resistentes como os coliformes termotolerantes que são usados como os principais indicadores de segurança da água. A ausência de coliformes cria a falsa sensação de segurança, porque muitos agentes patogênicos virais e parasitas são resistentes aos níveis de desinfetantes aplicados. Portanto, a manutenção de um residual de desinfetante ou um aumento na dose do desinfetante jamais poderiam ser considerados substitutos da rigorosa aplicação de boas práticas operacionais e de manutenção. Contudo, a perda de residuais de cloro pode ser usada como indicador de intrusão se for realizada uma apropriada frequência de monitoramento, especialmente se houver contínuo monitoramento das instalações do sistema de distribuição (LeCHEVALLIER, 1999a).

Em locais em que não seja aplicado um residual de desinfetante para manter a qualidade durante a distribuição, a prevenção do ingresso de microrganismos patogênicos precisa ser garantida para proteger a qualidade da água. Ela dependerá da regular inspeção sanitária dos sistemas de distribuição para identificar vazamentos ou partes do sistema que permitam ingresso de material fecal e onde a água superficial ou o solo possam ser agentes contaminadores. Os resultados da inspeção sanitária deveriam ser usados para definir ações preventivas de manutenção e reparo. A manutenção da qualidade da água em redes de abastecimento que não usam desinfecção requer um apropriado treinamento de operadores e gerentes de sistemas e contínuo suporte através da vigilância. É importante também controlar e reduzir o nível de nutrientes a fim de diminuir o potencial de crescimento de biofilmes (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

4.20.2.1 A estabilidade do desinfetante durante a distribuição da água

Para reduzir ou prevenir a colonização de organismos remanescentes do tratamento e inativar bactérias associadas à contaminação devido à intrusão em redes de distribuição é importante que o desinfetante tenha estabilidade. A colonização microbiológica pode levar à corrosão de tubos e acessórios metálicos da rede de

distribuição e provocar o aparecimento de efeitos estéticos adversos tais como gosto, odor e problemas de aparência da água. Outro problema importante é o recrescimento de organismos oportunistas relacionados à saúde e seu impacto na detecção de coliformes. Geldreich (1996) relata que pesquisa feita em 969 sistemas públicos de água revelou que a contagem padrão de placas de 10 organismos ou menos foi obtida em mais de 60% dos sistemas estudados que tinham residual de cloro de aproximadamente 0,1 a 0,3 mg/L. Os sedimentos, habitat protetor para os microrganismos nas redes e a seletiva sobrevivência de organismos resistentes a desinfetantes foram as razões encontradas para explicar porque concentrações de cloro residual maiores do que 0,3 mg/L de cloro não produziam maiores reduções na contagem de bactérias heterotróficas (CBH). Em outro estudo envolvendo 986 amostras coletadas nas redes de distribuição de Baltimore e Frederick, Md., a manutenção de um residual de cloro livre foi a medida mais eficaz para a manutenção de baixa contagem padrão de placas.

O residual de desinfetante no sistema de distribuição pode ser muito eficaz na inativação de agentes patogênicos associados a contaminantes que se infiltram nas redes de distribuição; contudo há limitações para essa barreira protetora (USEPA, 2004). Geldreich (1996) relata que residuais de cloro na faixa de 0,1 a 0,3 mg/L não fornecem adequada proteção contra a intrusão maciça seguida de grande contaminação caracterizada por odores, cor e turbidez na água distribuída. Para a rápida inativação de microrganismos o residual de cloro livre mostrou-se mais efetivo que o residual de cloro combinado.

Geldreich (1996) descreve problemas em sistemas de distribuição associados ao uso de cloro residual combinado ou que se apresentam sem residual. O uso de cloro combinado é caracterizado por uma fase satisfatória inicial na qual os residuais de cloramina são facilmente mantidos através do sistema e as contagens de bactérias são muito baixas. Após um período de anos podem ocorrer problemas devido ao aumento da contagem bacteriana, declínio no cloro combinado residual, aumento das reclamações relativas ao gosto e odor e ser reduzida a capacidade de escoamento hidráulico na tubulação. A conversão do sistema para cloro residual livre, de início, produz reclamação dos consumidores em relação ao gosto e odor resultantes da oxidação do material orgânico acumulado e da dificuldade em manter uma concentração de cloro livre nas pontas do sistema de distribuição. Nesses casos, a aplicação de um sistemático programa de descarga de rede permite que o residual de

cloro livre seja restabelecido em todo o sistema, diminui a contagem de bactérias e, por consequência, decrescem as reclamações em relação ao gosto e odor. Dos desinfetantes de uso mais comum – cloro, cloraminas, dióxido de cloro e ozônio – somente ozônio não fornece residual permanente, porque é altamente reativo e desaparece rapidamente nos sistemas de distribuição.

Quando ozônio é aplicado, alguns compostos orgânicos não degradáveis presentes no processo de tratamento da água, serão convertidos em compostos menos complexos prontamente utilizados pelas bactérias. Se os compostos resultantes não forem removidos haverá mais carbono orgânico assimilável no sistema de distribuição e, portanto, haverá mais nutrientes para a atividade de colonização microbológica, principalmente durante os períodos em que a água estiver mais quente (GRAY, 2008).

Geralmente o desinfetante é adicionado no final do tratamento da água para produzir residual, fornecer proteção contra o crescimento microbológico e limitar os efeitos da contaminação enquanto a água é escoada através do sistema de distribuição.

Por outro lado, normalmente, o desinfetante residual é consumido nas superfícies expostas dos materiais na rede, depósitos nas tubulações, espécies de microrganismos e produtos químicos na água (USEPA, 2004). O desinfetante residual também pode ser consumido por contaminantes que entram na rede, como resultado de conexões cruzadas ou de retrossifonagem. Assim, no final de longas redes ou em redes com extensos períodos de trânsito da água, a concentração residual do desinfetante pode chegar a zero. Em si, isto não é um problema, mas será se houver contaminação devido ao crescimento de microrganismos que comprometem a qualidade da água ou o monitoramento da qualidade microbológica. Contudo, muitos operadores consideram prudente manter um residual nas extremidades do sistema. A adequada manutenção da rede auxilia a conservar o residual de desinfetante em toda ela, contudo pode ser necessário um reforço na desinfecção (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

Um método para manter um residual de desinfetante através da rede é assegurar alta concentração residual na água que deixa a estação de tratamento de água. Entretanto, isto pode significar que os consumidores imediatamente à jusante da Estação de Tratamento de Água receberão concentrações de desinfetante que podem ser indesejáveis por causa do sabor e odor (GELDREICH, 1990).

O reforço da desinfecção é uma solução alternativa para este problema. O residual desinfetante varia durante o dia com a demanda e, conseqüentemente, com o tempo de trânsito. Desta forma, as amostras da qualidade da água nos sistemas de distribuição identificam em que lugares o residual do desinfetante está inadequado e, portanto, onde há necessidade de reforço da desinfecção.

Normalmente, a entrada e saída de reservatórios são os locais escolhidos para a instalação do reforço da desinfecção. A vantagem em usar esta prática é o fato de os reservatórios poderem garantir um novo tempo de contato para a ação do desinfetante além de fornecerem um local seguro para a instalação dos equipamentos de dosagem e de difícil acesso ao público. Atualmente, segurança e proteção são questões importantes onde houver equipamentos, devido aos constantes roubos de fios das instalações elétricas.

4.20.2.2 Monitoramento microbiológico dos sistemas de distribuição de água

O objetivo dos programas de monitoramento microbiológico nos sistemas de distribuição é garantir que o abastecimento de água atenda às diretrizes, padrões e regulamentos sanitários vigentes.

Existem dois níveis de monitoramento em um sistema de distribuição de água: monitoramento de conformidade e o monitoramento especial, planejado para melhor entender as características e o desempenho do sistema. O monitoramento rotineiro de conformidade envolve o desenvolvimento de um plano sistemático de cobertura de todas as áreas do sistema de distribuição, com uma amostragem estratégica que demonstre a permanente distribuição de água segura em todos os setores de abastecimento. Por outro lado, um programa de monitoramento especial tem que ser planejado para entender as características e o desempenho do sistema e para localizar áreas com problemas que necessitem ações corretivas (GELDREICH, 1990).

O monitoramento efetivo da qualidade microbiológica do abastecimento de água requer cuidadosas considerações do processo de amostragem quanto à frequência de coletas de amostras e a bem elaborada seleção de locais de amostragem. Nos sistemas de abastecimento de água (SAAs) que usam água de mananciais subterrâneos protegidos é esperado que a água tenha alta qualidade e, assim, necessite menos monitoramento do que os sistemas que usam mananciais superficiais. Os sistemas de abastecimento que usam a desinfecção como único

processo de tratamento necessitam maior atenção, principalmente pela menor quantidade de barreiras sanitárias, necessitando monitoramento mais freqüente do que o necessário para sistemas que usam tratamento convencional com múltiplos processos em série.

A integridade do sistema de distribuição freqüentemente é um importante problema em sistema com redes com tubos velhos, potencial de conexões cruzadas e fluxo reverso. Deste modo, cada sistema de água é único em seu poder e fragilidade, bem por isso é necessário tratá-los individualmente quanto à freqüência de monitoramento; porém, é preciso manter pelo menos uma mínima freqüência necessária especificada pelas regulamentações nacionais.

Vários critérios foram relacionados para ser estabelecido o menor nível de monitoramento necessário: volume de água consumido pela população, número de ligações de água e o comprimento total da rede de tubos da distribuição. Contudo, a prática mais aceita está baseada no cálculo da freqüência de amostragem em função da população servida. A base para esta abordagem é o reconhecimento de que a população cresce da mesma forma que crescem o tamanho, a complexidade do sistema e o potencial de contaminação da rede de distribuição por conexões cruzadas e retrossifonagem. Desta forma é buscado enfatizar a necessidade de demonstrar ao público que a água é segura, ou seja, de boa qualidade (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

Para estabelecimento do número específico de amostras necessárias pelo serviço de abastecimento segundo a população abastecida, Geldreich (1996) afirma que para serem dados produzidos dados estatísticos significativos em relação à qualidade bacteriológica de pequenos sistemas de água é importante que sejam colhidas no mínimo 5 amostras por mês. Para pequenos abastecimentos de água os testes de coliforme para qualidade da água final deveriam ser feitos uma vez por semana, caso sejam detectadas a presença ocasional de coliformes. O monitoramento de sistemas de distribuição para bactéria coliforme não deveria ser ignorado apenas porque a rede de tubos em um sistema de água pequeno é simples e tem poucas ligações domiciliares. Em pequenos sistemas de distribuição, a medição do residual do desinfetante fornecerá a confirmação da proteção via disponibilidade do desinfetante contra algum evento de contaminação, a qual poderá ocorrer através de conexões cruzadas e outros problemas potenciais comuns às configurações da rede de tubulações.

Por causa dos custos laboratoriais associados ao monitoramento adicional, deveriam ser consideradas alternativas para fornecer assistência aos pequenos sistemas e, assim, melhorar a proteção da saúde pública. Por exemplo, para pequenos sistemas (<3300 habitantes) que usam abastecimento de água subterrânea desinfetada ou filtram sua água superficial antes da desinfecção, uma inspeção sanitária tri-anual das operações do sistema de água poderia ser substituída por algum aumento no monitoramento. Este tipo de inspeção envolve uma inspeção no local (*on-site*) da bacia, manancial, processos de tratamento, rede de distribuição e dados do monitoramento de um sistema público de água realizado por pessoal competente. O objetivo é assegurar a eficiência no fornecimento contínuo de água segura para a comunidade (GELDREICH, 1996).

Geldreich (1990) descreve outra abordagem usada, – a medição de cloro como um substituto parcial para o monitoramento microbiológico. Sob a *National Interim Primary Drinking Water Regulation Rule* (Estados Unidos), a autoridade sanitária poderia substituir até 75 por cento das amostras bacteriológicas necessárias estabelecendo medidas de cloro residual livre tomadas em pontos representativos dentro do sistema de distribuição, em uma frequência de pelo menos quatro testes para cada análise de coliforme substituída. Além do mais, é preciso manter pelo menos 0,2 mg/L de cloro livre em todo o sistema de distribuição e, diariamente, serem feitas determinações de cloro residual. Embora esta abordagem demonstre a presença de um residual de desinfetante em toda a rede de distribuição, não há certeza da inexistência de coliformes, porque eles ainda podem estar presentes devido ao insuficiente tempo de contato, proteção proporcionada pelas partículas ou pelos biofilmes.

A contagem heterotrófica de placa, medições de menos de 500 organismos por mL – como alternativa para atender a necessidade de desinfecção (pelo menos 0,2 mg/L) em 95 por cento de todos os locais testados da rede de distribuição – também tem algum mérito em reduzir as exigências de monitoramento. O recrescimento de bactérias acima de 500 organismos por mililitros limita esses sítios no verão, fato que motiva o operador a dar descargas nas linhas para minimizar o crescimento bacteriano e, talvez, restaurar o residual do desinfetante (GELDREICH, 1996).

Para Payment e Robertson (2004) os padrões de potabilidade baseados exclusivamente no critério da população abastecida - “quatro amostras por mês, se a

população for menor do que 5.000 habitantes” - são ineficazes para garantir a qualidade da água distribuída para todos os consumidores. Teoricamente, o controle microbiológico pode ser alcançado através de um programa de monitoramento freqüente de cada reservatório e de cada ligação de água. Contudo, tal estratégia é extremamente custosa e apenas verifica que a água era segura quando foi distribuída, porque a identificação e enumeração dos microrganismos é muito lenta, por isso, inadequada para a prevenção e controle.

A estratégia para a seleção de pontos de amostragem deveria ser o planejamento de um programa de amostragem para monitorar todas as partes de um sistema de distribuição durante todo o tempo. Apesar do tamanho do sistema, a porcentagem de amostras deveria ser coletada em pontos fixos, como o primeiro consumidor localizado após o tratamento, estações de bombeamento, reservatórios e locais com problemas constantes com ocorrências de coliformes. Esta porção do programa de amostragem pode ser descrita como amostragem “representativa” das variações da qualidade da água – isto é, pontos de amostragem permanente, escolhidos por serem representativos das variações da qualidade da água dentro do sistema de distribuição. Outros locais deveriam ser selecionados aleatoriamente em todo o sistema de distribuição, tomando o cuidado de selecionar torneiras abastecidas com água de uma ligação domiciliar conectada diretamente com a rede ao invés de a um reservatório domiciliar. Os pontos aleatórios deveriam incluir áreas nas quais haja possibilidade de contaminação através de conexões cruzadas e retrossifonagem, tais como hospitais, escolas, prédios públicos, apartamentos, hotéis e fábricas (GELDREICH, 1996).

Durante um evento de contaminação ou quando houver presença de biofilme de coliformes, devem ser escolhidos novos pontos de amostragem, dentro do setor ou zona de abastecimento, em um esforço para verificar os dados iniciais e isolar a área com problema na rede de distribuição. O isolamento da área pode ser difícil por causa da ocorrência de fluxo reverso no sistema de distribuição e da natureza transitória de alguns eventos de contaminação. Apesar dessas dificuldades, é possível obter sucesso em localizar o problema através da seleção de locais de amostragem acima e abaixo das ocorrências de coliformes, nas quais o residual de cloro seja nulo ou em locais em que a turbidez tenha aumentado ou exista ocorrência de população de bactérias heterotróficas (GELDREICH, 1990).

Um eficiente meio de monitoramento é desenvolver uma rotina de amostragem para a qualidade da água em tempo-real – se possível *on-line* – ou seja, monitorar parâmetros ligados à qualidade microbiológica da água em locais selecionados em todo o sistema de distribuição de água (rede e reservatórios). Com um bom conhecimento das características hidráulicas, essa abordagem pode ser custo-eficaz e rapidamente pode fornecer alertas de falhas no sistema relacionadas a risco à saúde. Os parâmetros que podem ser usados como substitutos são cloro livre, pressão da água, oxigênio dissolvido e turbidez. Anomalias ou alterações súbitas nesses parâmetros podem indicar problema no sistema. Um programa de monitoramento deveria incluir diretrizes em relação à interpretação dos dados e ações corretivas a serem tomadas quando os limites forem excedidos (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

Segundo Stevens et al. (2004) um programa de monitoramento para a gestão de riscos em sistemas de distribuição envolve três tipos de monitoramento:

- Monitoramento operacional para auxiliar na gestão do dia-a-dia da segurança do sistema;
- Processo de validação para os processos de tratamento e outras medidas de controle;
- Verificação se todo o sistema de abastecimento de água está operando corretamente.

O monitoramento microbiológico de rotina normalmente cumpre o papel de verificação porque apenas checka a segurança da água – verifica se o sistema está funcionando adequadamente – por isso não deveria ser entendido como controle operacional.

As inspeções sanitárias periódicas de reservatórios e demais unidades além de serem importante parte dos Planos de Segurança da Água são elementos essenciais para os pequenos sistemas operados pela própria comunidade, nos quais a verificação da qualidade da água não seja feita freqüentemente (HOWARD, 2002).

4.20.2.3 Parâmetros microbiológicos usados no controle da qualidade da água

4.20.2.3.1 Coliformes Totais

Os coliformes foram usados extensivamente como base para a regulamentação da qualidade microbiológica da água para consumo humano. Inicialmente os coliformes totais foram usados como indicadores de contaminação fecal e, por consequência, da possível presença de agentes patogênicos entéricos. Entretanto, muitas espécies de bactérias do grupo coliforme total sobrevivem e crescem no ambiente, motivo pelo qual seu valor como um indicador de contaminação fecal foi questionada por muitas agências regulatórias. Cepas de bactérias coliformes total podem colonizar as superfícies dentro do sistema e tomar parte da composição do biofilme (STEVENS et al., 2003 e LeCHEVALLIER, 1990). As condições ambientais que favorecem este processo são temperatura da água maior que 15°C, pH neutro e concentrações adequadas de carbono orgânico assimilável (COA). Em climas temperados, os eventos de crescimento ocorrem durante os meses de verão, porém em climas subtropical e tropical eles ocorrem durante todo o ano (PAYMENT e ROBERTSON, 2004).

A habilidade que os coliformes totais têm para desenvolvimento no ambiente ou nos sistemas de distribuição de água fazem deles um índice pouco confiável de contaminação fecal. Contudo, os coliformes totais podem ser usados no monitoramento operacional, como medida da deterioração da qualidade da água no sistema de distribuição. A detecção desses organismos pode revelar crescimento microbiano e, possivelmente, formação de biofilmes, bem como o ingresso de material externo incluindo solo. Contudo, a CBH detecta uma grande variedade de organismos, motivo pelo qual, freqüentemente, para essas condições é considerada como melhor indicador do que os coliformes totais (GELDREICH, 1996).

4.20.2.3.2 *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes

Escherichia coli (*E. coli*) é o indicador fecal indicado pela OMS (WHO, 2004a) e utilizado por vários países, inclusive o Brasil (BRASIL, 2004). As informações atuais sugerem que *E. coli* é quase que exclusivamente originada das fezes de animais de sangue quente. Sua presença na água para consumo humano é interpretada como indicador de recente ou de uma substancial contaminação fecal pós-tratamento ou de um inadequado tratamento dado à água. Os coliformes

termotolerantes *E. coli* e também alguns tipos de *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*. Embora outras espécies de termotolerantes diferentes da *E. coli* também incluam organismos ambientais, as populações de coliformes termotolerantes na maioria das águas são predominantemente compostas por *E. coli*. Assim, os coliformes termotolerantes são considerados como menos confiáveis mas são aceitos como indicadores da poluição fecal.

Segundo Payment e Robertson (2004) para usar *E. coli* ou os coliformes termotolerantes como indicadores da poluição fecal, vários problemas precisam ser considerados:

- Embora *E. coli* não prontamente cresça fora do intestino de animais de sangue quente, em regiões temperadas existem algumas evidências que sugerem seu crescimento no ambiente natural em regiões tropicais. Entretanto, na maioria dos casos, *E. coli* competirá com outras bactérias ambientais; portanto, é questionável se o crescimento ocorre na natureza.
- *E. coli* é extremamente sensível à desinfecção e sua presença em amostras de água é um sinal de importante deficiência no tratamento ou na integridade do sistema de distribuição. Contudo, sua ausência não fornece suficiente segurança para afirmar que a água esteja livre de riscos microbiológicos. Muitos agentes patogênicos virais e protozoários são significativamente mais resistentes à desinfecção e podem sobreviver à exposições do desinfetante que inativam *E. coli*. O ingresso de esgoto sanitário no sistema de distribuição que veicula água com um desinfetante residual pode não ser detectado usando apenas *E. coli* como indicador; porque estas bactérias podem ser inativadas enquanto outros agentes patogênicos permanecem viáveis.

4.20.2.3.3 Contagem de bactérias heterotróficas

A contagem de bactérias heterotróficas (CBH) foi um dos primeiros parâmetros usados para monitorar a qualidade microbiológica da água de consumo humano. Logo após os trabalhos de Koch, no final do século XIX, CBH foi usado para monitorar a segurança da água final. Contudo, recentemente, CBH tornou-se um indicador de qualidade geral do sistema de distribuição (WHO, 1997a).

Os microrganismos heterotróficos são nativos na água e biofilmes e no sistema de distribuição de água estão sempre presentes em maiores concentrações do que as bactérias do grupo coliforme. Um aumento da CBH indica transpasso no

tratamento, contaminação pós-tratamento, crescimento na água veiculada no sistema de distribuição ou presença de depósitos e biofilmes no sistema. Um súbito aumento na CBH acima de valores normais (históricos) deveria disparar ações para investigar e, se necessário, remediar a situação. Não há evidências que os microrganismos heterotróficos no sistema de distribuição sejam responsáveis por algum efeito sobre a saúde da população que ingere esta água (WHO, 2003).

Alguns países usam um valor máximo de CBH de 500 UFC/mL a 35°C, porque concentrações maiores que esta interferem na determinação de coliformes com as técnicas de filtração por membrana baseadas na fermentação da lactose. Contudo, o métodos mais novos, baseados no metabolismo de substratos cromogênicos, não estão propensos a essa interferência (GELDREICH, 1996).

4.20.3 Problemas de qualidade da água em sistemas de distribuição

A distribuição de água é um componente crítico de todo sistema de abastecimento de água. Sua principal função é fornecer água em quantidade, qualidade e com pressão adequadas - falhas em atender a estes objetivos se constituem em séria deficiência no sistema (NRC, 2005).

A qualidade pode ser degradada no trajeto entre a unidade de tratamento e a torneira do consumidor devido, entre outros fatores: à reações químicas e biológicas entre a água e os materiais constituintes do sistema de distribuição, à contaminações externas que ocorrem por causa de quebras de tubulações, a vazamentos associados a transientes hidráulicos, à inadequada manutenção de reservatórios.

A USEPA (2006b) relacionou os problemas associados à perda da integridade do sistema de distribuição em:

- Conexões cruzadas e retrossifonagem;
- Implantação de novas tubulações e reparo nas tubulações existentes;
- Deficiências na Reservação de água;
- Crescimento microbiológico e formação de biofilmes;
- Deficiências na operação e manutenção do SDA
- Lixiviação e vazamentos;
- Intrusão de contaminantes;
- Infiltração.

A partir do estudo elaborado pela NRC (NRC, 2005) é possível classificar os problemas que necessitam ser tratados prioritariamente para garantir a integridade do sistema de distribuição de água conforme mostra o Quadro 4.37.

A seguir é feita breve descrição de cada um destes fatores.

4.20.3.1 Conexões cruzadas e retrossifonagem

Conexão cruzada é o nome dado a uma ligação não protegida entre o sistema público de abastecimento de água e outro sistema ou fonte nas quais substâncias indesejáveis podem ser potencialmente introduzidas no abastecimento de água (USEPA, 2002c).

Quadro 4.37 - Priorização dos problemas encontrados em sistemas de distribuição de água.

Problemas	Unidade do sistema de distribuição envolvida	Grau de Prioridade
Conexões cruzadas e retrossifonagem	Redes de distribuição e reservatórios	Alta
Implantação de novas tubulações e reparo nas tubulações existentes	Redes de distribuição	Alta
Deficiências na Reservação de Água	Reservatórios	Alta
Crescimento microbiológico e formação de biofilmes	Todo o sistema de distribuição	Média
Deficiências na operação e manutenção do sistema	Todo o sistema de distribuição	Média* / Baixa
Lixiviação e Vazamentos	Todo o sistema de distribuição	Média* / Baixa
Intrusão de contaminantes	Rede de distribuição	Média
Infiltração	Rede de distribuição	Baixa

* Média quando relacionada à perda do residual de desinfetante na água

Fonte: adaptado de NRC (2006).

Retrossifonagem é o indesejável fluxo reverso de água ou mistura de água e outros líquidos, gases ou outras substâncias dentro de tubulações de distribuição de água potável de uma ou mais fontes (NRC, 2005). Para que um destes eventos ocorra é necessário existir uma conexão cruzada e uma diminuição na pressão da rede que crie um diferencial de pressão que permita que uma substância indesejável penetre no sistema de distribuição, ou que exista uma conexão cruzada em que haja um gradiente de pressões maior do que a pressão normal do sistema de distribuição (USEPA, 2002c).

De 1971 a 1998, a contaminação química e microbiológica, através de conexões cruzadas e retrossifonagem foram consideradas como responsável pela maioria das doenças cuja causa estivesse ligada aos sistemas de distribuição de água (CRAUN e CALDERON, 2001).

Segundo a NRC os incidentes que envolvem conexões cruzadas e a retrossifonagem têm sido reconhecidos como importantes contribuintes para o surgimento de doenças relacionadas à água. As conexões cruzadas também são de grande interesse em locais onde um sistema de água potável esteja próximo de um sistema de águas residuárias ou de coleta de águas pluviais (NRC, 2006).

4.20.3.2 Reparo e implantação de novas tubulações existentes

A contaminação do interior de tubulações é comum durante a instalação de redes de distribuição de água. Pierson et al. (2002) identificaram três principais fontes de contaminação da água relacionadas à construção e manutenção de redes:

- Ligações domiciliares avariadas durante o reaterro das valas;
- Não proteção dos tubos durante o armazenamento antes de sua instalação;
- Não proteção dos tubos durante o assentamento dentro da vala; e
- Vala contendo água de chuva durante o assentamento das tubulações.

Besner et al. (2002) relacionaram as seguintes causas de contaminação durante a instalação e reparos de tubulações:

- Inadequada velocidade das descargas para retirada de contaminantes em novas tubulações;
- Condições sanitárias inadequadas durante a implantação ou reparo de tubulações;

- Introdução de sedimentos contaminados nos tubos que não foram removidos durante o processo de limpeza e desinfecção das redes.

As redes de distribuição e ligações domiciliares podem ser suscetíveis à contaminação se houver possibilidade de ruptura ou perfuração e se estiverem próximas à tubulações que escoem esgoto sanitário que estejam avariados (vazando), associado à pressões baixas ou negativas nas redes.

A contaminação química e microbiológica dos materiais do sistema de distribuição, seja durante a ruptura de tubos ou durante sua instalação, reabilitação e reparo é um problema de alta prioridade. Craun; Berger e Calderon (2001), em estudo sobre os surtos de doenças relacionadas com a água, entre 1971 e 1998, relataram que dos doze maiores surtos causados por deficiências nos sistema de distribuição, um estava associado à contaminação de tubulações durante o armazenamento inadequado antes da sua instalação.

O uso insuficiente de melhores práticas, tais como desinfecção após a realização de reparos na rede, permite que a contaminação se propague através do sistema de distribuição (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION SERVICE CO., INC. (2002e). A NRC (2006) indica a necessidade de melhorias no uso de boas práticas e treinamento e certificação de operadores para reduzir estes riscos.

4.20.3.3 Deficiências na reservação de água tratada

Os reservatórios de água tratada são de vital importância para os sistemas de distribuição de água. Segundo Gray (2008) os reservatórios normalmente são projetados e operados para:

- Assegurar a integridade e confiabilidade hidráulica do sistema;
- Fornecer uma capacidade de reserva para combate a incêndios e outros emergências;
- Equalizar as pressões no sistema de distribuição; e
- Equilibrar o uso da água durante o dia.

Para atender esses objetivos devem ser armazenados grandes volumes de água; no Brasil é de hábito armazenar um terço do volume consumido diariamente; contudo, em países desenvolvidos estes volumes são maiores e podem resultar em

longos tempos de detenção da água nessas unidades (NRC, 2006). Longos tempos de detenção e inadequada mistura da água dentro dos reservatórios criam a oportunidade de contaminação química e microbiológica. Uma dos principais problemas de degradação da qualidade da água durante a reservação é a perda do residual do desinfetante, como também o comprometimento devido ao aumento da temperatura da água durante o verão. A contaminação química da água pode ocorrer devido a falhas no revestimento, presença de solventes, adesivos ou outros produtos químicos usados para fabricar ou reparar o revestimentos internos dos reservatórios. A perda da qualidade da água também pode ocorrer devido à entrada de contaminantes externos originados de pássaros, animais, ventos, chuvas e algas. Por isso é muito importante manter os reservatórios cobertos e manter estreita vigilância nas aberturas que permitam contato da água reservada com o meio externo. As aberturas de ventilação, de inspeção e de extravasão devem ser adequadamente projetadas, construídas e operadas – pois são pontos vulneráveis à contaminação externa (AWWA e EES, Inc., 2002c). Geldreich relata a ocorrência de quatro surtos de doenças relacionadas à água que estavam associados à contaminação pela má cobertura de reservatórios, os quais foram contaminados por pássaros. (GELDREICH, 1990).

Para NRC (2006) as exigências quanto à quantidade e qualidade de água no controle da quantidade de água a ser reservada freqüentemente estão em conflito. Enquanto o objetivo da quantidade da água é promover uma reservação excessiva de água, os objetivos da qualidade da água são minimizar o tempo de residência da água dentro dos reservatórios e maximizar, nas instalações de tratamento, o tempo de contato da água com o desinfetante. É necessário equilibrar essas exigências para garantir eficiente desinfecção da água e um nível de serviço que traga benefícios à saúde e bem-estar da população.

Para minimizar os problemas devido ao elevado tempo de detenção e diminuição da concentração residual do desinfetante é importante garantir uma perfeita mistura da água dentro dos reservatórios através da eliminação de zonas mortas e prevenir curtos circuitos através da adequada disposição das entradas e saídas da água dos reservatórios (AINSWORTH, 2004).

4.20.3.4 Crescimento microbiano e formação de Biofilmes

Segundo LeChevallier (1999a) todo sistema de distribuição de água é suscetível à formação de biofilmes a despeito da pureza da água, tipo de material das tubulações, ou da presença de desinfetante. O crescimento de bactérias nas superfícies pode ocorrer no sistema de distribuição ou nas instalações hidráulicas prediais (NRC, 2006). Está bem documentado o fato de a contagem de bactérias suspensas no sistema de distribuição ser resultado de células desprendidas devido ao crescimento de células dos biofilmes na água. Este fenômeno ocorre com organismos autotróficos e heterotróficos, coliformes e agentes patogênicos oportunistas. Nestas circunstâncias o biofilme desprendido pode atuar como inóculo dentro das tubulações da rede. Os organismos, então, podem ser inalados durante o banho ou podem ser ingeridos.

Os biofilmes presentes nos sistemas de distribuição de água são principalmente compostos por organismos encontrados no ambiente e, como tal, têm limitado interesse para a saúde pública. Esses organismos freqüentemente são enumerados através da CBH e, por enquanto, existem poucos estudos epidemiológicos que relacionam CBH e efeitos sobre a saúde humana (WHO, 2003).

Biofilmes podem ser um reservatório para agentes patogênicos oportunistas como *M. avium complex* (*M. avium* e *M. intracellulare*) que foram isolados em águas para consumo humano nos EUA. Eles estão relacionados às infecções e à doenças como a tuberculose na população imunocomprometida, particularmente aquela com AIDS/SIDA (NRC, 2006).

Também já foi observada a presença de células viáveis de *Helicobacter pylori* e do vírus *Coxsackie B* em tubulações de redes de distribuição de água com biofilmes (NRC, 2006).

A eliminação de biofilmes ou seu controle não é tarefa fácil, uma vez que ações para eliminá-los são complexas e observações feitas indicam que a busca em reduzir o número de determinados organismos pode, potencialmente, selecionar outros. De modo geral, os biofilmes podem ser controlados: pela remoção da matéria orgânica durante o tratamento da água que pode auxiliar seu crescimento; uso racional de desinfetantes; boas práticas higiênicas de operação tais como descargas, minimização da corrosão das superfícies das tubulações metálicas; e gestão das fontes de contaminação externas. O controle de biofilmes comumente é aperfeiçoado pelo uso de boas práticas, que também reduzem a magnitude de outros problemas de

qualidade da água tais como: a formação de subprodutos da desinfecção, corrosão e aqueles ligados aos aspectos estéticos. Os mecanismos para controlar os biofilmes também podem ser benéficos para redução dos níveis de coliformes e de agentes oportunistas (USEPA, 2002b).

A formação de biofilme é considerada uma prioridade média, porque o potencial de risco à saúde pública dessa fonte de exposição é de menor importância em relação aos fenômenos incluídos na categoria de alto risco. Os riscos associados com biofilmes parecem ser mais significativos como agentes patogênicos oportunistas que podem causar doenças na população imunocomprometida (NRC, 2006).

4.20.3.5 Deficiências na operação e manutenção do SDA

As descargas na rede de distribuição e de reservatórios e a limpeza das superfícies internas das tubulações são práticas rotineiras de manutenção frequentemente conduzidas no sistema de distribuição, para atender às reclamações dos consumidores, reduzir o tempo de detenção da água e melhorar sua qualidade. Os serviços de abastecimento de água geralmente usam fazer descargas manuais no sistema através de hidrantes ou de dispositivos de descargas convenientemente instalados para controlar o crescimento microbológico. Estas práticas podem afetar negativamente a qualidade da água do sistema de distribuição, caso não sejam conduzidas de maneira adequada (AWWA, 1992).

Água estagnada pode ocorrer em pontas mortas de redes e reservatórios que estejam subutilizados ou tenham limitados períodos de uso. A água estagnada oferece a oportunidade para partículas suspensas sedimentarem nas tubulações, para desenvolvimento de biofilmes e, ainda, para acelerar a ocorrência de corrosão de origem biológica. Os reservatórios com capacidade excessiva podem levar ao crescimento de bactérias heterotróficas nos sedimentos, ataque ao revestimento das paredes, e à propagação de biofilme nas superfícies (GELDREICH, 1996). Longos tempos de detenção também podem resultar na redução dos residuais do desinfetante e causar a liberação de amônia devido ao decaimento das cloraminas (AWWA, 1992).

Os depósitos são suscetíveis a se desprenderem, e ficarem suspensos e serem arrastados sob determinadas condições hidráulicas, como a reversão do fluxo ou a mudança da velocidade da água nas tubulações. As mudanças súbitas na velocidade

ou distúrbios hidráulicos podem causar a ressuspensão de biofilme acumulado, sedimentos ou tubérculos que resultarão em sua liberação para dentro da massa líquida. Também, se o sistema for abastecido por múltiplas unidades de tratamento que apresentem distintas qualidades de água, poderá ocorrer a liberação de biofilmes, sedimentos ou tubérculos na área de interface entre as águas (NRC, 2006).

A magnitude das pressões transitórias podem ser reduzidas através da lenta operação de abertura ou fechamento dos dispositivos de bloqueio ou descarga – quando as válvulas destes dispositivos são fechadas lentamente decresce a variação da velocidade nas tubulações. A magnitude do transiente de pressão nas tubulações pode ser elevada e atingir pressões de até 43 psi para cada 0,43 m/s de incremento da velocidade (WALSKI e LUTES, 1994).

4.20.3.6 Lixiviação e vazamentos

Todos os materiais usados nos sistemas de distribuição de água sofrem reações que introduzem substâncias na água via processo conhecido como lixiviação (*leaching*). Tubos, acessórios, juntas, revestimentos e outros materiais usados liberam substâncias na água através da corrosão, dissolução, difusão, ou separação. Os revestimentos internos dos reservatórios também podem liberar substâncias (USEPA, 2002a).

A maioria das substâncias liberadas na água provém de materiais do sistema de distribuição e parecem não indicar ameaça para a saúde pública por estarem presentes em concentrações baixas e, nestas condições, não serem tóxicas. Entretanto, é possível ocorrer restrições quanto a gosto e odor na água distribuída (USEPA, 2006e).

Sob certas circunstâncias, a lixiviação de contaminantes tóxicos pode ocorrer em níveis que podem constituir ameaça à saúde humana – NRC (2006) relata que tubos de PVC fabricados anteriormente a 1977 são conhecidos por liberar, na água o cloreto de vinila, substância que é carcinogênica. Os materiais que usam cimento têm, sob certas condições não usuais, liberado alumínio na água distribuída em concentrações perigosas, principalmente para pessoas que se encontrem em hemodiálise (NRC, 2006).

Geldreich (1996) relata, também, problemas de lixiviação excessiva de substâncias orgânicas provenientes de revestimentos, juntas e demais materiais.

Os problemas decorrentes de antigos sistemas de distribuição podem ser controlados através do monitoramento dos contaminantes potencialmente lixiviados no sistema, como ajustes na composição química da água ou pelo remanejamento/substituição de materiais (NRC, 2005).

Pesquisas têm demonstrado que a lixiviação de componentes do sistema de distribuição podem impactar, de maneira bastante significativa, a qualidade da água distribuída. Colbourne et al. (1984) relataram a ocorrência de *Legionella* associada a certos anéis de vedação usados nas juntas de tubulações e, Geldreich (1996) reportou a existência de organismos associados com materiais usados nas juntas – *Pseudomonas aeruginosa*, *Chromobacter sp.*, *Enterobacter aerogenes* e *Klebsiella pneumoniae*. Os compostos usados na impermeabilização de reservatórios podem contribuir com polímeros orgânicos e solventes que podem dar suporte ao crescimento de bactérias heterotróficas; o mesmo acontece com materiais de revestimento das tubulações que contenham betume, borrachas cloradas e resinas epóxi. Tubos de PVC podem conter estabilizantes que, uma vez dispersos na água distribuída, podem auxiliar o crescimento bacteriano (GELDREICH, 1996).

Para a NRC (2005), atualmente, a despeito da lixiviação de substâncias químicas na água, este problema é considerado de baixa prioridade em relação aos demais problemas encontrados no sistema de distribuição.

4.20.3.7 Intrusão de contaminantes

A garantia da distribuição segura da água tratada para as torneiras dos consumidores requer, entre outras medidas, a proteção contra a intrusão de contaminantes dentro do sistema de distribuição durante baixas pressões transientes. A intrusão se refere ao fluxo de água não potável dentro da rede de distribuição após vazamentos, rupturas, ventosas submersas, falha nas juntas e outras aberturas resultantes de pressões baixas ou negativas. Os regimes de pressão transitórios são inevitáveis; todos os sistemas têm sua operação temporariamente interrompida ou ocorrem rápidas mudanças de vazão, como aquelas causadas pela descarga de hidrantes; todos os sistemas provavelmente irão experimentar os efeitos de erros humanos, paralisação de equipamentos, ou outros distúrbios que gerem riscos (NRC, 2005).

Os eventos transientes têm significativas implicações sobre a qualidade da água e a saúde pública porque podem gerar elevadas pressões e tensões de

cisalhamento que podem causar a ressuspensão de partículas sedimentadas, bem como o desprendimento de biofilmes. Por outro lado, causam baixas pressões que têm potencial de causar a intrusão de água contaminada nas tubulações com juntas fracas das redes de distribuição ou até mesmo sua ruptura. Esta situação é especialmente importante em sistemas com tubos assentados abaixo do nível freático. Ar dissolvido também pode ser liberado da água sempre que a pressão local diminuir consideravelmente e isso pode promover a corrosão dos tubos de aço e ferro com subsequente formação de ferrugem e danos nas tubulações.

Algumas estratégias de proteção da rede contra transientes – tais como ventosas ou tanques de amortecimento unidirecional – se não forem apropriadamente projetadas ou mantidas poderão permitir que, através delas, ocorra a entrada de contaminantes no sistema de distribuição. Em eventos com grande intrusão de água contaminada na rede, o cloro residual pode ser insuficiente para proteger a água da contaminação e como consequência poderão ocorrer efeitos adversos à saúde na população (KIERMEYER et al., 2001).

A baixa pressão em redes de distribuição de água é um conhecido fator de risco de surtos de doenças relacionadas água, embora existam limitados dados de campo (NRC, 2005).

Os eventos de intrusão podem ser controlados ou prevenidos se forem implementadas boas práticas de operação do sistema de distribuição tais como:

- exigências para suficiente pressão de água e adequado nível de residual em todo o sistema de distribuição de água;
- detecção e controle de perdas;
- substituição e reabilitação de redes;
- manutenção de distância segura entre redes de distribuição e de coleta de esgotos;
- operação criteriosa de válvulas e hidrantes;
- instalação de ventosas de maneira a não ocorrer sua inundação;
- programa de monitoramento de rotina pois a diminuição súbita dos residuais de cloro é importante indicador de possível fonte de contaminação no sistema;
- uso da modelagem de transientes hidráulicos no sistema de distribuição; e
- aplicação mais rigorosa das normas e padrões de engenharia (NRC, 2006).

Segundo NRC (2005), embora a literatura não apresente dados suficientes para indicar que a intrusão devida a transientes de pressão seja uma fonte substancial de risco, a intrusão é o resultado de eventos de retrossifonagem e, portanto ela deve ser considerada para a manutenção e proteção de qualidade de água em sistemas de distribuição como importante fonte de riscos.

4.20.3.8 Infiltração

Em sistemas de distribuição de água, a infiltração ocorre quando contaminantes externos penetram através das tubulações e juntas. A infiltração geralmente está associada a tubulações de materiais não metálicos. Os contaminantes que mais comumente se infiltram em tubos plásticos são compostos orgânicos lipofílicos e não-polares, tais como hidrocarbonetos altamente voláteis e solventes orgânicos. Estes compostos químicos podem prontamente ser difundidos entre a matriz plástica dos tubos, alteram o material plástico, e migram para a água dentro das tubulações (NRC, 2006). Os exemplos mais comuns de infiltração em tubos de água e acessórios estão associados à contaminação do solo da área na qual o tubo foi assentado.

A maioria dos incidentes envolvendo a infiltração estão ligados à gasolina associada a compostos orgânicos. Estes incidentes têm ocorrido em locais de alto risco, tais como áreas industriais ou próximas de tanques subterrâneos de armazenamento de produtos químicos; ocorrem com menos frequência em áreas residenciais. Em alguns casos a integridade das tubulações tem sido irreversivelmente comprometida, necessitando a completa substituição de trechos contaminados (NRC, 2005).

Embora exista potencial para a degradação da qualidade da água como resultado da infiltração em tubos plásticos, especialmente nos aspectos de gosto e odor, os impactos à saúde associados com tais infiltrações não costumam ser significativos. Em alguns incidentes de infiltração, as concentrações de certos compostos químicos têm atingido nível de poucas partes por milhão, os quais estão bem abaixo dos respectivos valores-guia indicados pela OMS (WHO, 2003) (AWWA e EES, Inc., 2002a).

Devem ser tomadas medidas apropriadas para minimizar a ocorrência de infiltrações, tais como regulamentar as condições sob as quais os tubos plásticos deveriam ser usados (NRC, 2006).

4.20.4 Indicadores da qualidade da água distribuída

O monitoramento da qualidade da água baseada nos testes para bactérias coliformes como indicadores da contaminação fecal teve origem há aproximadamente 100 anos (BRANCO, 1986). Há um século, a maioria dos surtos relacionados às doenças de veiculação hídrica eram causados por organismos patogênicos e puderam ser claramente relacionados à contaminação fecal da água de consumo humano. A prevenção das doenças gastrointestinais originadas da exposição à água de consumo humano significava manter o material fecal fora da água; a melhor tecnologia disponível para detectar a contaminação fecal era monitorar a água quanto à presença de bactérias do grupo coliforme (NRC, 2006).

Atualmente, a água é tratada e distribuída através das tubulações das redes. A complexidade dos sistemas de distribuição, associado ao aumento da disponibilidade e uso de produtos químicos tem aumentado a probabilidade de eventos de contaminação e doenças veiculadas pela água não relacionadas às deficiências do manancial ou do tratamento. Existem também doenças endêmicas cuja ocorrência podem estar ligadas à contaminação das águas dos sistemas de distribuição (PAYMENT et al., 1991). O monitoramento da água por indicadores e por outras condições que possam fornecer informações sobre as deficiências do sistema de distribuição e problemas de integridade são importantes instrumentos para proteção da saúde pública (USEPA, 2006b).

Segundo USEPA (2006b) um indicador é um parâmetro que pode ser medido e usado como um substituto para outros parâmetros ou condições que não podem ou difíceis de serem diretamente medidos. Os indicadores são usados em muitos contextos e a definição para cada indicador pode variar conforme seu uso. Por definição, um contaminante não pode ser um indicador; na avaliação de sistemas de distribuição de água, um indicador é um substituto usado para demonstrar ou prever a vulnerabilidade do sistema à rupturas, à contaminação ou a risco potencial à saúde pública.

Muitos contaminantes têm sido mencionados como causas de surtos de doenças devido à sua exposição à água de consumo humano. Esses contaminantes podem entrar no sistema de distribuição por múltiplas rotas. Os agentes contaminantes são biologicamente diversos e os métodos para a detecção de alguns agentes patogênicos ou microrganismos exigem trabalho intensivo, necessitam

longos tempos de incubação, requerem reagentes especiais, ou são muito caros. Alguns agentes patogênicos e vírus não têm sido reproduzidos com sucesso em laboratórios. Mesmo quando os métodos estão disponíveis, poucos laboratórios têm técnicos especializados e instalações adequadas para isolar e identificar os agentes patogênicos capazes de causar doenças relacionadas à água. Além disso, o monitoramento direto de um único agente patogênico somente fornece informação específica sobre esse agente e pode não fornecer informação sobre outros contaminantes em potencial, exceto se for possível estabelecer uma relação de co-ocorrência entre os contaminantes. Os recursos e tecnologias necessários para monitorar todos os agentes patogênicos em potencial não estão disponíveis para a maioria dos sistemas de água (USEPA, 2006b).

Da mesma forma, numerosos compostos químicos podem contaminar os sistemas de distribuição; no entanto, monitorar todos os compostos que poderiam estar presentes nos sistemas de distribuição de água não é factível para a maioria dos sistemas, dadas as restrições técnicas e de recursos.

Assim, sob certas circunstâncias, o uso de indicadores como substitutos para a medição direta de agentes patogênicos múltiplos ou compostos – como um primeiro nível de avaliação, para então focar em agentes patogênicos específicos – pode ser uma abordagem eficaz e exequível (USEPA, 2006b).

A USEPA (2006b) ao avaliar os indicadores de qualidade de água dividiu os problemas relacionados aos sistemas de distribuição, para os quais os indicadores podem ser usados, em três categorias que representam o grau de severidade associado a seus efeitos:

- Perda de integridade do sistema de distribuição;
- Contaminação do sistema de distribuição;
- Risco à saúde pública.

Para avaliar os indicadores de forma sequencial – por exemplo, é possível ter uma falha na integridade do sistema de distribuição sem causar contaminação; também é possível ter um evento de contaminação, sem causar doença – os indicadores foram considerados em relação a sua eficácia.

4.20.4.1 Vias que rompem a integridade do sistema de distribuição

A integridade do sistema de distribuição é composta por três componentes:

- Integridade física – associada à manutenção de uma barreira física entre o interior do sistema de distribuição e o meio externo;
- Integridade Hidráulica – para manutenção de vazão, pressão, idade da água necessária ao atendimento das necessidades humanas e, também, para combate a incêndios;
- Integridade da Qualidade da Água – diz respeito à manutenção da qualidade da água via prevenção da contaminação originada internamente ao sistema de abastecimento de água (NRC, 2006).

É importante limitar o grau ou a severidade das falhas ou das mudanças da qualidade da água a serem consideradas, por ser impraticável e até desnecessário considerar todos os tipos de alterações que podem ocorrer. Desta forma é considerada como alteração ou falha aquela situação que, no mínimo, requeira melhorias nos procedimentos de operação e manutenção. Em USEPA (2006b), aqui não foram considerados, pequenas mudanças na qualidade da água, tais como flutuações menores na temperatura, pH, alcalinidade, ou no residual do desinfetante, que são inerentes às flutuações diárias ou sazonais, associadas à operação do sistema de abastecimento de água.

4.20.4.1.1 Contaminação do sistema de distribuição

Os problemas de contaminação no sistema de distribuição podem ocorrer através de vias ou devido a falhas na integridade do sistema de distribuição. Contudo, um indicador de uma via não necessariamente aponta a presença de um contaminante específico ou que tipo de contaminação ocorreu através dessa via. Por isso é necessário usar outra forma de identificar um problema no sistema de distribuição relacionado a um contaminante com potencial risco à saúde pública (USEPA, 2006b).

a. Contaminação fecal

A contaminação fecal pode ocorrer quando é estabelecida uma forma de ingresso de um contaminante fecal no sistema de distribuição de água. Este tipo de contaminação pode ocorrer: através de intrusão, de reservatórios de água tratada abertos, de ruptura nas tubulações, ou através de uma conexão cruzada entre uma fonte de esgoto doméstico e a rede de distribuição (USEPA, 2006b).

b. Contaminação química ou carcinogênica

A contaminação química ou a carcinogênica podem atingir a água através de vias externas que resultem na contaminação do sistema de distribuição - da mesma forma que a contaminação fecal. Os eventos que podem levar a este tipo de contaminação também são os mesmos citados para a contaminação fecal (USEPA, 2006b).

Os contaminantes tóxicos ou carcinogênicos também podem se manifestar dentro do sistema de distribuição, como biofilmes, corrosão e lixiviação. Modificações nas práticas organizacionais ou em métodos de tratamento podem causar a liberação desses contaminantes retidos nas tubulações, devido à mudanças no pH ou em outros parâmetros de qualidade da água (USEPA, 2006b).

c. Efeitos sobre a Saúde Pública

Os efeitos sobre a saúde pública tais como surtos de doenças de veiculação hídrica e doenças endêmicas podem acontecer, mas nem sempre ocorrem, após um evento de contaminação. Do mesmo modo, os indicadores de vias de perda da integridade ou indicadores de contaminação não necessariamente indicam efeitos sobre a saúde pública (USEPA, 2006b).

d. Surtos de doenças veiculadas pela água ou doenças endêmicas.

A ingestão de água do sistema de distribuição que contenha agentes patogênicos, toxinas ou agentes carcinogênicos pode resultar em doenças. Algumas vezes a doença pode não ser notificada pelas autoridades de saúde (vigilância epidemiológica); outras vezes a autoridade pode ser incapaz de associar a doença ao sistema de abastecimento de água. O último cenário pode ocorrer quando a população afetada acredita que a doença pode ter sido causada por alimentos, quando testes seguidos no sistema de distribuição não puderam detectar a presença do contaminante, ou quando o número de pessoas afetadas pode não ter sido observado pelas autoridades sanitárias.

Existem evidências que uma significativa sub-notificação do número de surtos e doenças a eles associadas, seja devida às limitações inerentes à sua detecção ou a relatos pouco confiáveis (USEPA, 2006b).

4.20.4.2 Indicadores

Os quadros 4.42, 4.43 e 4.44, de forma sumária, mostram cada tipo de problema no sistema de distribuição de água e os indicadores que podem ser aplicados por meio da sua identificação. A descrição completa de cada indicador e uma discussão das vantagens e desvantagem de seu uso podem ser obtidas em USEPA (2006b).

4.21 PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA APLICADOS A SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

O item 4.11 descreveu todo o desenvolvimento de um plano de segurança da água aplicável a um sistema de abastecimento; neste item será apresentado o uso específico dos Planos de Segurança em sistemas de distribuição da água.

A segurança da água de consumo humano depende de vários fatores como qualidade da água do manancial, eficácia do tratamento e integridade do sistema que distribui água aos consumidores. Em cada estágio – captação, tratamento e distribuição – há perigos que podem comprometer a qualidade da água. A distribuição de água é menos vulnerável à contaminação que as unidades que a antecedem quando a água é originária de um manancial superficial; contudo, se as redes de distribuição forem contaminadas, pode não haver processo de tratamento capaz de reduzir os riscos causados pela referida contaminação.

A distribuição de água segura é essencial para a proteção da saúde pública e para promover melhor qualidade de vida às populações que habitam as áreas urbanas e rurais. Unidades de distribuição bem projetadas, bem operadas e com boa manutenção trazem benefícios para todo o sistema de abastecimento de água, contudo são insuficientes, a menos que sejam adotadas práticas específicas para a gestão de perigos em todo o sistema de abastecimento. De modo geral a avaliação da segurança da água é limitada a testes ocasionais de qualidade e pouca atenção tem sido dada à gestão pró-ativa da segurança da água. Identificar, priorizar e prevenir riscos a partir de perigos é base de uma abordagem ampla – como os planos de segurança da água - e são de extrema utilidade para manter sob controle os riscos na sua distribuição.

Quadro 4.38 - Indicadores microbiológicos.

Indicador	Tipo de Problema do sistema de distribuição				
	Perda da Integridade do SDA		Contaminação		Efeitos sobre a saúde pública
	Vias externa	Vias interna	Fecal	Tóxico ou carcinogênico	Surto ou doenças endêmicas veiculadas pela água
Coliformes totais	X	X	*		X ¹
<i>E. coli</i>	X		X		X ²
<i>Coliformes Termotolerantes (Fecal)</i>	X	X	X		
<i>Bactérias Heterotróficas</i>		X			
<i>Contagem de Bactérias Totais e Contagem de Bactérias Viáveis Totais</i>	X	X			
<i>Pseudomonas e Aeromonas</i>	X	X			
<i>Enterococcus e Streptococcus fecal</i>	X		X		X
<i>Colifagos somáticos</i>			X		
<i>Colifagos Male- Specific</i>	X		X		X
<i>Clostridium perfringens</i>	X		X		
<i>Fagos bacteróides</i>			X		

Nota:

* os coliformes totais abrangem um amplo espectro como potencial de contaminação fecal; alguns agentes patogênicos bacterianos fecais podem estar presentes quando os coliformes totais estão presentes.

¹ potencialmente indicativo de agente patogênico bacteriano, mas não para vírus e protozoários

² nem todos são patogênicos.

Fonte: adaptado de USEPA (2006b).

Quadro 4.39 - Indicadores químicos

Indicador	Tipo de Problema do sistema de distribuição				
	Perda da Integridade do SDA		Contaminação		Efeitos sobre a saúde pública
	Vias externas	Vias internas	Fecal	Tóxico ou carcinogênico	Surto ou doenças endêmicas veiculadas pela água
Residual do desinfetante	X	X			X
pH	X	X			
Alcalinidade	X	X			
Cálcio		X			
Condutividade	X	X			
Esteróis fecais			X		
Cafeína			X		
Carbono Orgânico Assimilável ou Carbono Orgânico Dissolvido Biodegradável		X			
Adenosina Tri-Fosfato (ATP)		X			
Endotoxina	X	X			
Ferro	X	X			
Nitrogênio/amônia/nitrito/nitrato		X	X		
Alumínio		X			
Cloretos	X		X		
Fósforo microbiologicamente disponível		X			

Fonte: adaptado de USEPA (2006b).

Quadro 4.40 - Outros indicadores

Indicador	Tipo de Problema do sistema de distribuição				
	Perda da Integridade do SDA		Contaminação		Efeitos sobre a saúde pública
	Vias externas	Vias internas	Fecal	Tóxico ou carcinogênico	Surto ou doenças endêmicas veiculadas pela água
Inspecções sanitárias	X		X		X
Turbidez	X				
Perda de água	X	X	X	X	
Temperatura	X	X			
Pressão	X		X	X	X

Fonte: adaptado de USEPA (2006b).

Para garantir a distribuição de água segura é importante que as metas estabelecidas para a saúde considerem a exposição aos riscos aos quais a população estará sujeita, para que a definição do nível de proteção necessário à saúde seja baseado em um julgamento informado e equilibrado (BARTRAM et al., 2001). Como regra, a água que entra no sistema de distribuição deveria ser segura para beber, sem necessidade de tratamentos adicionais

A gestão da segurança em sistemas de distribuição de água deve ter como princípios básicos:

- Manter a qualidade da água;
- Minimizar os riscos de contaminação; e
- Reduzir a deterioração da qualidade durante o transporte.

Muitos sistemas de distribuição são complexos emaranhados de tubulações, bombas, reservatórios e válvulas, cujos riscos não são facilmente identificados quando comparados com outras unidades do sistema de abastecimento de água e, portanto, exigem abordagem específica para a sua gestão.

A seguir é apresentada a seqüência de atividades previstas para a elaboração de um Plano de Segurança da Água agora com foco na rede de distribuição de água.

4.21.1 Reunião de equipe

O primeiro passo no desenvolvimento de um plano de segurança da água é reunir uma equipe multiprofissional que entenda especificamente da distribuição de água, para descrever o sistema em estudo. A equipe deverá ser composta por gerentes, engenheiros (operação, manutenção, projeto), especialistas no controle da qualidade da água (microbiologistas e químicos) e técnicos envolvidos nas operações diárias do sistema. Como pré-requisito todos os membros da equipe devem possuir bom conhecimento do sistema.

4.21.2 Análise e descrição do sistema

O próximo passo é descrever todo o sistema de abastecimento de água, porque será a base para a elaboração do fluxograma inicial que, necessariamente, deverá incluir o sistema de distribuição de água com as indicações das zonas e setores de abastecimento. É importante capturar em detalhes elementos do sistema de abastecimento de água para a correta identificação, avaliação e definição das medidas de controle. Nesta análise devem ser indicados os usos que são dados à água distribuída; deve ser avaliado o nível de vulnerabilidade dos vários grupos de usuários da água e precisa ser descrito o ambiente do entorno do sistema em avaliação.

4.21.2.1 Descrição do sistema de abastecimento de água

Na análise preliminar são revisados os dados disponíveis para avaliar os prováveis contaminantes que podem estar presentes no manancial. A descrição da bacia hidrográfica e dos processos de tratamento deve utilizar os dados disponíveis no próprio serviço de abastecimento de água. Para análise dos processos de tratamento pode ser consultada a literatura existente para identificar as reduções esperadas dos contaminantes e a adequabilidade dos processos de tratamento em estudo.

Neste estágio deve ser preparado um diagrama mostrando o fluxo de água desde o manancial até o tratamento. No tratamento deve ser identificada cada unidade do processo e serem bem localizadas as entradas e saídas de água, as

válvulas de controle e dosadores, assim como os tanques de armazenamento de água de lavagem de filtros etc. Através do fluxograma é possível analisar as principais unidades do processo de tratamento e a localização dos equipamentos e medidores. Este fluxograma preliminar tem como objetivo dar uma visão geral do sistema de abastecimento de água. A Figura 4.33 mostra um fluxograma desenvolvido para o sistema de abastecimento de água de Silvan (DAVISON et al., 2004).

Uma vez conhecidas as principais características do manancial, bacia e tratamento do sistema de abastecimento – antes de ser iniciada uma descrição detalhada do sistema de distribuição – deve ser elaborado um esquema do sistema como um todo, indicando a localização dos reservatórios e a configuração geral do sistema de abastecimento de água.

Figura 4.33 - Fluxograma do sistema de abastecimento de água de Silvan.
Fonte: adaptado de Davison et al. (2004).

Nesta etapa deverá ser realizada uma avaliação preliminar com o objetivo de verificar se o sistema de abastecimento de água, a princípio, pode produzir água dentro dos limites de segurança.

4.21.2.2 Descrição do sistema de distribuição de água

A avaliação de riscos em redes de distribuição de água exige ampla compreensão de suas características hidráulicas: materiais usados, idade e tipo de tubulações, localização das tubulações em relação às áreas onde existam perigos.

Portanto junto a área operacional e a área responsável pelo monitoramento da qualidade da água do sistema devem ser investigadas as tendências da qualidade da água e as características hidráulicas da rede de distribuição que possam resultar em intermitência, ruptura das tubulações ou transientes hidráulicos durante o abastecimento.

Segundo Godfrey e Howard (2004) de posse destas informações e com a análise do sistema é possível identificar os pontos ou trechos da rede de distribuição suscetíveis à contaminação. A análise preliminar de toda a rede de distribuição é feita de acordo com as seguintes etapas:

- Divisão do Sistema de distribuição de água;
- Coleta de dados existentes da rede de distribuição;
- Caso não haja cadastro da rede de distribuição deverá ser desenvolvido um cadastro da rede;
- Identificação das redes primária, secundária e terciária;
- Identificação da rede de distribuição (diâmetro, material, idade, localização);
- Durante a análise preliminar deverão ser identificadas também as condições hidráulicas e sanitárias dos principais reservatórios, o que inclui breve avaliação das condições físicas do sistema de distribuição.

Todos os projetos, mapas e cadastros disponíveis da rede de distribuição de água devem ser examinados. Caso não haja cadastro das unidades existentes deve ser elaborado um esquema detalhado da distribuição de água. Também devem ser localizadas todas as estruturas maiores (estação de tratamento de água, reservatórios, estações elevatórias e pressurizadoras, caixa de válvulas, adutoras e rede primária)

em pranchas de desenho – não é necessário que este esquema seja feito em escala. As extensões e distâncias da rede primária e secundária podem ser estimadas através de inspeção de campo.

Se não houver cadastro algum do sistema de distribuição pode ser utilizada a metodologia desenvolvida por PREM CHAND (2003)* apud Godfrey e Howard (2004) descrita a seguir:

- Usar mapa do arruamento da cidade (Plano urbanístico) como base;
- Conduzir inspeções nas ruas existentes;
- Usar o arruamento como referência para os limites das zonas de abastecimento;
- Localizar aproximadamente as Estações de Tratamento de Água e os Reservatórios e delimitar todos os setores e zonas de abastecimento da rede de distribuição de água;
- Indicar as adutoras e redes primárias no mapa de arruamento, da ETA até os reservatórios.
- Especificar os diâmetros da rede primária e secundária - é considerada rede primária a tubulação com diâmetro maior que 200 mm;
- Usar a validação de campo para locar as redes secundárias e as válvulas maiores.
- Preparar um mapa indicando todas as informações obtidas acima, e
- Dividir o mapa em blocos de aproximadamente 0,5 km².

Uma vez que os mapas tenham sido preparados, os pontos-chave da infraestrutura do sistema deverão ser identificados em detalhes e, necessariamente, deverão indicar a localização dos reservatórios, estações elevatórias e pressurizadoras, redes e adutoras principais, redes secundárias e válvulas maiores. Godfrey e Howard, (2004) propuseram a utilização das seguintes definições:

* PREM CHAND, Anwar, M., Rao, C.,V., Kumar, R., e Godfrey S. (2003) *Water Safety Plans for Utilities in Developing Countries – A Case Study from Guntur, India*. KAKTOS, Guntur, Índia.

- **Infra-estrutura Primária:** incluem adutoras da estação de tratamento de água (ETA), inclusive os reservatórios, tubulações entre reservatórios e válvulas ou outra infra-estrutura para controle e medição do fluxo de água.
- **Infra-estrutura secundária:** são as tubulações principais que distribuem a água dos reservatórios (ou diretamente da ETA) até às residências das comunidades. A infra-estrutura secundária também inclui todos os acessórios da rede de distribuição.

4.21.2.3 Setorização do sistema de distribuição de água

A adoção de setores de abastecimento permite criar áreas isoladas de operação do sistema e assegura que seja conhecido que manancial, estação de tratamento ou reservatório abastece com água determinado ponto do sistema. A setorização do sistema habilita o operador a estimar o provável impacto de um contaminante que entra no sistema em um dado ponto.

Cada setor ou zona de abastecimento pode ser usado para identificar riscos sanitários específicos para determinada parte do abastecimento, além de auxiliar os operadores a tratarem riscos em geral.

Os setores ou zonas são definidos segundo características topográficas e hidráulicas da rede de distribuição de água. O uso de um modelo hidráulico computadorizado do sistema, caso esteja disponível, permite configurar um setor ou zona de abastecimento através da abertura ou fechamento dos dispositivos de manobra existentes. Esta tarefa requer informações, principalmente um cadastro detalhado da rede de distribuição de água e dos reservatórios.

Na ausência de dados, cadastros ou modelos computadorizados pode ser consultado um especialista para identificar quais dispositivos de manobra existentes devem ser mantidos fechados para delimitar a zona ou setor de abastecimento (GODFREY e HOWARD, 2005a).

4.21.2.4 Identificação dos usos dados à água e a suscetibilidade da população consumidora

É importante conhecer os usos dados à água conforme os setores de abastecimento indicando:

- Quem utiliza a água e qual o propósito do uso. Que cuidado especial deve ser dado para o uso por grupos mais vulneráveis tais como crianças, pacientes hospitalizados, pacientes de diálise, velhos e imunocomprometidos. Indicar para quais grupos de consumidores a água não é especificamente adequada para uso.
- Qual é o número de pessoas atendidas por diferentes níveis de serviço (individual, comunitário, torneira coletiva, torneira doméstica).
- Qual é o nível socioeconômico das diferentes comunidades atendidas.
- Como a água deverá ser usada e quais são as rotas de contaminação relevantes.
- Que orientação educativa foi dada ao consumidor quanto ao uso da água e como esta comunicação foi realizada, incluindo a informação de como os consumidores serão notificados em casos de contaminação em potencial (GODFREY e HOWARD, 2005b).

Estas informações são importantes, pois serão usadas para determinar a suscetibilidade da população aos perigos causados pelo consumo de água contaminada.

4.21.2.5 Análise do desempenho do sistema de distribuição de água

O estágio final da etapa de descrição do sistema é analisar os dados existentes para avaliar o desempenho do sistema. Para Howard et al. (2002) a avaliação dos dados da qualidade da água permite verificar a existência de:

- Áreas nas quais o residual de cloro livre é inferior aos limites prescritos;
- Áreas em que a turbidez frequentemente é elevada;
- Área na qual, com freqüência, tem sido detectada contaminação microbiológica;
- Áreas em que têm sido relatados vazamentos e rupturas nas tubulações;
- Áreas de intermitência no abastecimento de água.

Devem ser utilizadas fontes de dados diversas para realizar esta fase; alguns dados são obtidos diretamente do operador do sistema, outros do órgão responsável pela vigilância da qualidade da água. O objetivo na coleta desses dados é pesquisar a existência, dentro do sistema, de áreas que particularmente possam vir a colocar em risco a segurança da água. Alguns dados podem ser qualitativos, por exemplo, entrevistas junto à comunidade sobre a qualidade da água, assim como informações

sobre intermitência no abastecimento. Sempre que possível devem ser usados dados quantitativos e não qualitativos (GODFREY e HOWARD, 2005a).

4.21.3 Descrição do ambiente no entorno do sistema de distribuição de água

É importante no desenvolvimento da descrição do sistema de distribuição de água entender o ambiente no qual está incluso o sistema e considerar quais perigos ou fontes de perigo que ali estejam contidos possam vir a afetar o abastecimento. Os dados a serem coletados devem incluir:

- Dados de cobertura de esgoto, por tipo de solução adotada (individual ou coletiva);
- Localização da tubulação de esgoto;
- Localização dos drenos;
- Localização das estradas, rodovias e acessos;
- População atendida pelo serviço por setor ou zona de abastecimento;
- Áreas que concentram atividades industriais;
- Área de baixa renda (favelas, invasões, assentamentos etc.).

Alguns dados sobre o ambiente, por serem semelhantes às informações sobre o abastecimento de água, poderão ser obtidos diretamente dos cadastros do serviço de saneamento. Neste caso estão incluídos os dados de localização de coletores de esgoto, estradas e drenos. Há também outras informações de natureza diferente, pouco relacionadas à água, como por exemplo: densidade de população, população atendida e atividades industriais.

A coleta de dados da população atendida é muito importante para os estágios posteriores de classificação dos riscos. Essas informações são valiosas para ser estimado o número de pessoas que usam água à jusante do ponto de perigo.

Muitos desses dados são usados como substitutos de informações sobre perigo. Por exemplo, o número de habitantes (população) é usado como substituto da carga de contaminação fecal. Outros estão diretamente relacionados com eventos de perigos em potencial, por exemplo, coletores de esgotos que estão implantados muito próximos das tubulações de água e podem promover contaminação. Esses dados são usados para identificar áreas prioritárias de ocorrência de eventos perigosos (GODFREY e HOWARD, 2004).

4.21.4 Desenvolvimento de instrumentos para avaliação de campo.

Godfrey e Howard (2004), como próximo estágio, propuseram coletar dados diretamente do sistema a fim de:

- Investigar quais riscos podem afetar o sistema;
- Identificar como os perigos poderão atingir o sistema de abastecimento de água; e
- Como os riscos poderão ser controlados.

Nesse processo, o primeiro passo é desenvolver instrumentos para coletar essas informações. Os instrumentos usados na avaliação de campo são específicos para cada sistema e incluem inspeções sanitárias, análises e exames laboratoriais de parâmetros físicos e químicos selecionados.

Antes de executar a avaliação devem ser elaborados instrumentos específicos e padronizados para a inspeção sanitária a fim de permitir a comparabilidade das informações entre as unidades inspecionadas. Esses formulários são semelhantes àqueles utilizados na inspeção sanitária de rotina e devem ser adaptados para cada unidade do sistema de distribuição de água (GODFREY e HOWARD, 2005a).

Deve ser feita uma lista de todos os riscos sanitários (ou eventos perigosos) conhecidos que porventura possam ser encontrados no sistema de distribuição de água. Como as listas poderão ficar muito extensas e dificultar o seu manuseio, poderá ser necessário separar o sistema dentro de unidades comuns discretas e desenvolver formulários de inspeção sanitária específicos para cada uma delas; por exemplo, reservatórios, válvulas de controle maiores e torneiras públicas.

Para a elaboração desses formulários podem ser utilizados formulários existentes que tenham sido elaborados para outros sistemas. Esses formulários devem ser avaliados quanto à sua adequabilidade em relação ao objetivo esperado. Várias publicações técnicas relativas à operação e vigilância da qualidade da água destacam formulários que podem ser previamente consultados Howard (2002), OPS (1977), OPS (2001a) e Brasil (2007).

Os formulários devem ser elaborados de maneira que haja uma questão para cada risco cuja resposta seja, simplesmente, sim ou não:

- Sim, significa que o risco está presente.
- Não, significa que o risco não foi identificado.

No desenvolvimento do formulário, o primeiro passo será usar o fluxograma desenvolvido no item 4.21.2.1 e, então, realizar uma série de visitas às diferentes unidades do sistema de distribuição de água. Para cada ponto devem ser indicados quais riscos estão presentes e, então, relacioná-los no formulário de inspeção sanitária. O próximo passo é elaborar questões sobre os problemas/riscos encontrados para que sejam incluídos no formulário-padrão de inspeção sanitária. O formulário de inspeção pode incluir questões que devam ser respondidas pelos consumidores. As questões do formulário de inspeção, para todas as unidades do sistema, identificarão o ambiente próximo do ponto de inspeção e o estado da infraestrutura existente.

Os formulários precisam ser testados em campo antes da sua aplicação através de visitas e, se necessário, deverão ser revisados.

Também devem ser selecionados os parâmetros e os equipamentos necessários para análises químicas e exames físicos. Godfrey e Howard (2004) indicam o uso dos seguintes parâmetros:

- **Cloro residual livre** – para avaliar a proteção do desinfetante residual disponível através da rede de distribuição, quando é usada cloração. Para os sistemas que usam UV ou ozonização, deve ser dada maior atenção para o parâmetro turbidez.
- **Cloro residual total** – para avaliar se a perda de cloro livre está relacionada à falhas na cloração ou ao consumo por contaminantes no sistema de distribuição.
- **pH** – para avaliar se a cloração se desenvolve dentro de uma faixa aceitável que assegure sua eficácia;
- **Turbidez** – para avaliar se há aumento no consumo de cloro devido à entrada de contaminantes nas tubulações, aumento do biofilme ou presença de sedimentos.

4.21.5 Inspeção no Sistema

As informações obtidas nas etapas anteriores são úteis para análise e identificação dos pontos ou unidades do sistema que devem ser inspecionados. Como o processo da análise de risco é interativo, as informações obtidas anteriormente devem ser usadas para selecionar os pontos de inspeção que serão avaliados em

campo. No Quadro 4.41 estão indicados os critérios a serem utilizados para seleção dos pontos de inspeção.

Devido à complexidade do sistema de distribuição, os pontos de inspeção devem ser identificados de acordo com a zona ou setor de abastecimento. O uso de zonas e setores de abastecimento assegura que a avaliação do sistema possa ser dividida em “áreas de gestão” menores, além de permitir que problemas observados possam ser relacionados com as áreas atendidas pelos reservatórios ou estação de tratamento. Essa avaliação deve incluir, necessariamente, todos os reservatórios e válvulas localizadas na rede primária e secundária; desta forma será possível avaliar, em campo, quais tipos de riscos poderão afetar diretamente a segurança da água no sistema de distribuição e, também, avaliar se os maiores riscos para a segurança da água estão situados em nível local (setor ou zona de abastecimento) ou se eles têm caráter sistêmico (GODFREY e HOWARD, 2004).

Quadro 4.41 - Critério para seleção de pontos de inspeção.

Parâmetro	Critério
Ambiente Perigoso	Proximidade de perigos físicos (esgoto, lixo etc.) Proximidade de área de elevada carga de contaminação fecal (densidade populacional)
Evidência de problemas já ocorridos	Dados históricos de contaminação microbiológica Dados históricos de intermitência do sistema Dados históricos de vazamentos Evidencia de freqüentes níveis reduzidos de cloro residual
Característica do sistema à vulnerabilidades	Proximidade da infra-estrutura primária e secundária Especificação dos materiais (ano, material, comprimento etc.) Zona de abastecimento ou pressão Proximidade do ponto em relação a áreas vulneráveis do sistema e seu entorno.
Suscetibilidade	Número de pessoas afetadas a jusante.

Fonte: adaptado de Godfrey e Howard (2004).

Na seleção de amostras é fundamental que nos pontos de inspeção sejam usadas as informações coletados dos itens anteriores. Na avaliação é importante selecionar locais que representem um grupo dos critérios selecionados. Na seleção

dos pontos de inspeção devem ser consideradas as características de todo sistema, como um meio de identificar áreas de diferentes vulnerabilidades para contaminação. Essas características devem ser usadas para o desenvolvimento de mapas de risco, além de auxiliarem a seleção dos pontos críticos identificados nos estágios anteriores. Os pontos críticos devem ser avaliados detalhadamente nas inspeções de campo (GODFREY e HOWARD, 2005a).

4.21.6 Avaliação de riscos em redes de distribuição de água

A avaliação de riscos em redes de distribuição tem desafios diferentes dos encontrados nas demais unidades do sistema de abastecimento de água. Nos processos de tratamento, tais como filtração e desinfecção, é dada ênfase na seleção e controle dos processos que reduzirão os riscos a nível tolerável. No sistema de distribuição de água, o foco está na prevenção da recontaminação ou degradação da qualidade da água causada por falhas na integridade ou nas dificuldades de operação do sistema de distribuição. Em ambas as situações é útil determinar que contaminantes têm interesse (na avaliação dos perigos) e como eles podem atingir níveis inaceitáveis (caracterização de riscos). Isto torna mais fácil identificar os potenciais contaminantes (perigos) e os eventos de risco que poderiam causar esses perigos e contaminar o sistema (eventos perigosos) (STEVENS et al., 2004).

A avaliação de risco em sistemas de distribuição é semelhante à usada nos mananciais, nos quais o objetivo é prevenir a introdução de perigos; porém, a grande diferença entre elas está no fato de os sistemas de distribuição representarem a barreira final antes do consumo, enquanto os perigos identificados no manancial podem ser reduzidos durante o armazenamento e tratamento (GODFREY e HOWARD, 2004).

Na avaliação de risco é importante serem explicitados os riscos que devem ser avaliados, ou seja quem está em risco e qual a origem dos referidos riscos. Portanto, as seguintes questões são úteis como um primeiro passo na avaliação de risco:

- Como a água será usada e quais rotas de exposição são relevantes;
- Que tipo de educação é feita em relação ao uso da água;
- Como são notificados os consumidores em relação a uma possível contaminação da água;

- Para quem a água é direcionada;
- Que cuidados especiais são observados para grupos vulneráveis como crianças, idosos e imunocomprometidos.

A metodologia de Avaliação de Risco ainda não está estruturada para utilização rotineira e poucos são os estudos que se aprofundam especificamente sobre a análise de risco em redes de distribuição de água. Recentemente Carmo et al. (2008) apresentaram sugestão de identificação e categorização dos perigos associados ao abastecimento de água - a rede de distribuição é avaliada em termos de dados sobre qualidade de água (turbidez, coliformes, cloro residual livre) e do tipo de material usado nas tubulações. Este estudo ainda mantém forte influência no atendimento aos parâmetros ligados aos padrões de potabilidade e pouco explora outros fatores de riscos importantes – pressão da rede, distância das redes em relação a fontes de perigo etc. Por outro lado Godfrey et al. (2002) e Godfrey e Howard (2004, 2005a e 2005b), ao descrevem a experiência deste tipo de avaliação em Kampala (Uganda), Índia, Inglaterra etc. apresentaram uma abordagem específica para serem avaliados os riscos em sistemas de distribuição. Esses estudos mostraram que esta área do conhecimento está em franca evolução e constitui a principal fonte de pesquisa usada como base para esta pesquisa.

4.21.6.1 Conceitos de perigo e risco aplicado à rede de distribuição de água

Para WHO (2004a) a gestão de risco eficaz exige a determinação dos perigos potenciais e de suas fontes, assim como dos possíveis eventos perigosos, além da avaliação do nível de risco que cada qual representa. Neste contexto:

- Um perigo é um agente biológico, químico, físico ou radiológico com capacidade para ocasionar danos;
- Um evento perigoso é um incidente ou situação que pode permitir a presença de um perigo (o que pode ocorrer e como); e
- Risco é a probabilidade de que os perigos identificados ocasionem danos às populações expostas em um período de tempo especificado, incluindo a magnitude do dano ou de suas consequências.

Para avaliar os sistemas de distribuição de água devem ser levados em consideração vários aspectos:

- Projeto dos reservatórios;
- Tempo de retenção da água no sistema de distribuição;
- Variações sazonais de demanda e da qualidade da água;
- Proteção das unidades – cobertura dos reservatórios, cercas, acessos etc.;
- Projeto da rede de distribuição de água;
- Condições hidráulicas – por exemplo, idade da água, pressões, vazões;
- Proteção contra retrossifonagem;
- Presença de residual de desinfetante.

A avaliação geral do sistema de distribuição de água deverá levar em consideração dados históricos sobre a qualidade da água e o funcionamento do sistema ao longo do tempo, por exemplo, após determinados eventos perigosos como chuvas torrenciais.

Uma vez determinados os fatores de perigo potenciais e suas fontes eles deverão ser comparados aos riscos associados a cada fator de perigo ou evento perigoso, para ser possível estabelecer e documentar as prioridades da gestão de risco. Apesar de existirem inúmeros contaminantes que podem trazer perigo à qualidade da água, nem todos os fatores de risco necessitam dos mesmos cuidados (WHO, 2004a).

Geralmente, o risco associado a cada fator de perigo ou evento perigoso pode ser descrito determinando a probabilidade de sua ocorrência – por exemplo: certo, possível e excepcional – e avaliando a gravidade ou severidade das consequências no caso de ser produzida – por: insignificante, grave ou catastrófica (GODFREY e HOWARD, 2005b).

RISCO = PROBABILIDADE x GRAVIDADE

O objetivo deverá ser distinguir os fatores de risco ou eventos perigosos mais importantes e os de menor importância. Para isso, geralmente é usada uma matriz semiquantitativa (WHO, 2004a).

As matrizes de pontuação simples normalmente aplicam informações técnicas obtidas de diretrizes, publicações científicas e práticas da indústria associadas ao juízo de especialistas bem informados, corroborados por especialistas externos ou por comparação com sistemas de referências. A pontuação é específica para cada sistema de abastecimento de água, uma vez que cada qual é único. O sistema de pontuação semiquantitativo permite estabelecer a ordem de prioridade das medidas de controle correspondentes aos perigos mais significativos. Podem ser aplicados diversos sistemas para determinar a importância dos riscos (GODFREY e HOWARD, 2005b).

O Quadro 4.42 dá exemplo de matriz de pontuação de risco. A aplicação desta matriz está baseada em juízos de especialistas acerca dos fatores de risco ou eventos perigosos que podem trazer risco a saúde.

Quadro 4.42 - Exemplo de matriz de pontuação simples para a classificação de riscos por ordem de importância.

Probabilidade	Gravidade das conseqüências				
	Insignificante	Leve	Moderada	Grave	Catastrófica
Quase certa					
Provável					
Moderadamente provável					
Improvável					
Excepcional					

Fonte: adaptado de WHO (2004a).

Deve ser definido um limite acima do qual todos os perigos requerem atenção imediata, como mostra o Quadro 4.43, pois não tem sentido destinar grandes esforços para abordar riscos muito pequenos.

O Quadro 4.44 mostra um exemplo de definição de descritores que podem ser usados para avaliar a probabilidade e a gravidade das conseqüências.

Godfrey e Howard (2005a) reportaram que a avaliação de risco microbiológico da infra-estrutura, particularmente na rede de distribuição de água, é uma tarefa complicada porque múltiplas variáveis contribuem para o risco e as informações necessárias para definir essas variáveis nem sempre estão disponíveis.

Os autores propuseram que a estimativa de risco fosse baseada na combinação da vulnerabilidade do sistema e nos perigos que podem afetar o sistema, ou seja:

$$\text{RISCO} = \text{PERIGO} + \text{VULNERABILIDADE}$$

Quadro 4.43 - Exemplo de matriz de pontuação simples para a classificação de riscos por ordem de importância.

Probabilidade	Gravidade das conseqüências				
	Insignificante	Leve	Moderada	Grave	Catastrófica
Quase certa	Perigos que não requerem atenção imediata		Perigos que requerem atenção imediata		
Provável					
Moderadamente provável					
Improvável					
Excepcional					

Fonte: adaptado de WHO (2004a).

Quadro 4.44 - Descritores usados para definições de riscos e gravidade.

Probabilidade	Definição
Quase certo	Uma vez ao dia
Provável	Uma vez por semana
Moderado	Uma vez por mês
Improvável	Uma vez por ano
Raro	Uma vez a cada cinco anos ou mais
Severidade	Definição
Catastrófico	Potencialmente letal para uma grande população
Maior	Potencialmente letal para uma pequena população
Moderado	Potencialmente danoso para uma grande população
Menor	Potencialmente danoso para uma pequena população
Insignificante	Nenhum impacto ou não detectável

Fonte: adaptado de Deere et al. (2001).

Para ser conhecida a vulnerabilidade da rede de distribuição é preciso que seja feita uma avaliação sistemática dos perigos. Segundo Godfrey et al. (2002), vulnerabilidade é a medida do impacto causado por um perigo ou evento perigoso na infra-estrutura de distribuição, a qual pode ser representada por rupturas nas tubulações, vazamentos, intermitência no abastecimento de água ou pelo estado físico da infra-estrutura, tal como, idade, material, diâmetro e comprimento das tubulações; ela pode ser dividida em duas categorias:

- **Vulnerabilidade estática** – descreve as características físicas da rede, fruto de projeto e construção do sistema. Esses aspectos não se alteram facilmente exceto quando há programa de remanejamentos ou reabilitação das redes. Utiliza dados sobre o estado físico da infra-estrutura e sua potencial vulnerabilidade para eventos perigosos. Está diretamente ligada às características físicas e construtivas das tubulações e redes.
- **Vulnerabilidade variável** - descreve aspectos específicos ligados à operação e manutenção da rede e, portanto, às variáveis que constantemente sofrem alterações e de forma imprevisível. Utiliza dados de monitoramento relacionados a riscos sanitários e aumento de eventos perigosos. Está relacionada principalmente à falhas nas tubulações.

O sistema de pontuação da vulnerabilidade foi desenvolvido para cada parâmetro e, em alguns, casos a pontuação é feita de forma qualitativa.

Os Quadros 4.45 e 4.46 mostram alguns fatores ligados a vulnerabilidade estática e variável respectivamente.

Assim, como perigo pode ser considerado qualquer agente biológico, químico, físico ou radiológico com capacidade para ocasionar danos – o ambiente em que a infra-estrutura foi implantada também pode ser considerado como perigo (HOWARD et al., 2002). Quando são avaliados riscos microbiológicos, como é o

caso deste estudo, é no ambiente que encontramos a principal fonte de perigo – as excretas humanas, responsáveis pela transmissão dos principais agentes patogênicos microbiológicos.

Quadro 4.45 - Fatores ligados a vulnerabilidade e meios de mensuração.

Fatores de Vulnerabilidade	Meios de Mensuração	Provável período de alteração
Material da tubulação	Revisão dos dados de serviços de abastecimento de água	Longo
Diâmetro da tubulação	Revisão de dados dos serviços de abastecimento de água	Longo
Comprimento da tubulação	Revisão dos dados de serviços de abastecimento de água	Longo
Áreas de baixa pressão	Revisão dos dados de serviços de abastecimento de água	Longo
Áreas de intermitência no abastecimento	Revisão dos dados de serviços de abastecimento de água	Longo

Fonte: adaptado de Godfrey e Howard (2005b).

Quadro 4.46 - Fatores ligados a vulnerabilidade variável e meios de mensuração.

Fatores de Vulnerabilidade	Meios de Mensuração	Provável período de alteração
Manutenção dos reservatórios	Inspeção Sanitária	Curto
Manutenção das válvulas maiores	Inspeção Sanitária	Curto
Manutenção de torneiras	Inspeção Sanitária	Curto
Manutenção das unidades de tratamento	Inspeção Sanitária	Curto
Manutenção do residual de cloro na rede	Teste de qualidade da água	Curto
Vazamentos e retrossifonagem	Inspeção sanitária e detecção de vazamentos	Curto

Fonte: adaptado de Godfrey e Howard (2005b).

Segundo WHO (2003) a maioria dos agentes patogênicos são oriundos de fezes humanas e, em menor extensão, de fezes animais, embora uns poucos agentes possam ter um reservatório ambiental, por isso, são usualmente referidos como agentes patogênicos oportunistas (HAAS et al., 1996).

Os agentes patogênicos são excretados por indivíduos infectados e são transmitidos para outras pessoas por uma variedade de rotas, dos quais a água de consumo humano é rota importante. A relativa persistência na água, a resistência à desinfecção ao cloro e as doses infectantes variam entre diferentes agentes patogênicos como mostra o Quadro 4.47. Tais diferenças são importantes porque podem ter importante impacto na confiabilidade das abordagens atuais para medir a qualidade da água e no desenvolvimento de ações corretivas.

Por outro lado, para riscos serem estimados são necessárias informações sobre o impacto deles na população, ou seja, é necessário conhecer a suscetibilidade dos usuários da água distribuída em relação ao risco. A suscetibilidade dos usuários pode ser alta para certos grupos que utilizam água dos sistemas de abastecimento de água; por exemplo: crianças, velhos, imunocomprometidos e populações mais carentes que carregam consigo maior carga de doenças. A suscetibilidade pode ser definida como o impacto potencial da contaminação da infra-estrutura sobre a população e está relacionada às condições sócio-econômicas do consumidor.

A severidade é resultado dos perigos associados a suscetibilidade e pode ser expressa como:

SEVERIDADE = PERIGO + SUSCETIBILIDADE

Severidade é medida em relação ao número de pessoas afetadas e o provável impacto sobre elas. A natureza dos perigos determinará o provável efeito à saúde – por exemplo, agentes patogênicos e poluição intensa por produtos químicos podem levar à mortalidade, enquanto baixo nível de substâncias químicas podem levar à morbidade apenas.

Na estimativa da severidade e na definição dos perfis de severidade é preciso considerar o impacto das exposições de curta e de longa duração e isto pode resultar em exposições à substâncias químicas de longa duração – como, arsênico no

manancial – com classificação de maior severidade do que exposições isoladas de curta duração.

Quadro 4.47 - Agentes Patogênicos na água de consumo humano

Agente Patogênico	Significado para a saúde	Persistência no abastecimento de água	Resistência ao cloro	Dose infectiva relativa	Importante reservatório animal
Bactéria					
<i>Campylobacter jejuni</i>	Alto	Moderada	Baixa	Moderada	Sim
<i>E. coli</i>	Alto	Moderada	Baixa	Alta	Sim
<i>E.coli</i> Patogênica	Alto	Moderada	Baixa	Alta	Não
<i>Salmonella typh</i>	Alto	Longa	Baixa	Alta	Sim
Outras Salmonellas	Alto	Curta	Baixa	Moderada	Não
<i>Shighella spp.</i>	Alto	Curta	Baixa	Moderada	Não
<i>Vibrio cholerae</i>	Alto	Longa	Baixa	Alta	Não
<i>Yersina enterocolítica</i>	Alto	Longa	Baixa	Alta (?)	Não
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Moderado	Pode multiplicar	Moderada	Alta (?)	Não
<i>Aeromonas spp.</i>	Moderado	Pode multiplicar	Baixa	Alta (?)	Não
Vírus					
<i>Adenovirus</i>	Alto	?	Moderada	Baixa	Não
<i>Enterovirus</i>	Alto	Longa	Moderada	Baixa	Não
<i>Hepatite A</i>		?	Moderada	Baixa	Não
Hepatite viral entericamente transmitida não-A, não-B e E.	Alto	?	?	Baixa	Não
Vírus Norwalk	Alto	?	?	Baixa	Não
Rotavírus	Alto	?	?	Moderada	Não (?)
Vírus	Moderado	?	?	Baixa (?)	Não
Protozoários					
<i>Entamoeba histolytica</i>	Alto	Moderada	Alta	Baixa	Não
<i>Giardia intestinalis</i>	Alto	Moderada	Alta	Baixa	Sim
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Alto	Longa	Alta	Baixa	Sim
Helmintos					
<i>Dracunculus medinensis</i>	Alto	Moderada	Moderada	Baixa	Sim

Fonte: adaptado de WHO (1997a).

A localização de evento perigoso tem influência sobre o número de pessoas afetadas; por exemplo, eventos perigosos em adutoras ou em reservatórios têm impacto sobre a vida de muitas pessoas, enquanto um evento perigoso em uma pequena tubulação de distribuição poderá afetar apenas um número muito pequeno de pessoas. Esta abordagem ainda pode ser detalhada se for considerada a vulnerabilidade e suscetibilidade dos usuários afetados e se isto influenciará os resultados. Por exemplo, comunidades mais pobres são mais suscetíveis às doenças

veiculadas pela água, portanto, eventos perigosos que afetam estes grupos podem apresentar uma maior severidade em relação aos grupos com maior poder aquisitivo.

Estes três fatores de risco – Perigos ou Eventos Perigosos, Vulnerabilidade e Suscetibilidade – constituem a base para a avaliação de risco nas redes de distribuição proposta por Godfrey et al. (2002) ilustrada na Figura 4.34. Para avaliar cada um desses fatores é necessário usar indicadores de riscos apropriados também conhecidos como variáveis de risco e, em geral, em métodos de análise estatísticas multivariadas.

Figura 4.34 - Fatores associados à avaliação de riscos em redes de distribuição de água.

4.21.6.2 Identificação de perigos e eventos perigosos

A entrada de contaminantes na rede de distribuição depende do tipo do contaminante e do ambiente em que foram instaladas as tubulações. Para desenvolver eficazes avaliações de riscos, devem ser identificadas as fontes de perigo que estão localizadas nas proximidades das redes de distribuição.

O primeiro passo, ao considerar os perigos que podem afetar o abastecimento de água, é identificar os perigos potenciais e, em seguida, identificar perigos específicos – por exemplo, químicos, bactérias, vírus, protozoários, as fontes de perigos, bem como as redes coletoras de esgoto, fossas negras e sumidouros, drenos, indústrias etc.

A próxima etapa é considerar os impactos desses perigos no abastecimento de água; segundo Deere et al. (2001), a experiência tem demonstrado que considerar “eventos perigosos” ao invés de perigos específicos é o meio mais eficiente para

identificar e quantificar os riscos relacionados à água. Um evento perigoso pode ser definido como um mecanismo pelo qual um contaminante de interesse para a saúde é introduzido no abastecimento de água.

Nas estações de tratamento, os eventos perigosos estão relacionados à falhas específicas nos processos de tratamento; por exemplo, transpasse de protozoários devido a curto-circuito em decantadores ou à presença de bactérias na água distribuída provocada por falhas na desinfecção final. Neste caso é preciso caracterizar os eventos perigosos relacionados aos problemas existentes ou que podem ocorrer na operação de uma estação de tratamento.

Davison et al. (2002), como medida de segurança, recomendam o uso de eventos perigosos, porque fornecem o meio mais fácil de avaliar e categorizar perigos que afetam o sistema de água. Esta abordagem facilita identificar indicadores relacionados à qualidade microbiológica, por focar nas fontes potenciais dos agentes patogênicos e, desta forma, permitir que uma diversidade de agentes patogênicos potenciais seja agrupada durante a avaliação, sem haver necessidade de ser feita intensa avaliação microbiológica da qualidade da água através de exames laboratoriais. Godfrey et al. (2002) apresentam alguns indicadores que podem ser considerados nesta avaliação:

- Proximidade entre o sistema de esgoto e o abastecimento de água: incluindo estimativas da probabilidade de conexões cruzadas e a profundidade relativa dos tubos da rede de distribuição de água e de tubulações de esgotos.
- Proximidades de outras formas de solução para o esgotamento sanitário.
- Áreas de pouca drenagem superficial, nas quais pode ocorrer despressurização do sistema de distribuição;
- Outras fontes de matéria fecal, tais como criação de gado, animais domésticos etc.

Segundo Godfrey e Howard (2005b), para identificar um evento perigoso em sistemas de distribuição é importante considerar o modelo de contaminação fonte-meio-receptor ilustrado na Figura 4.35. Neste modelo a fonte é o receptor é a água de abastecimento (nesse caso os tubos que formam o sistema de distribuição) e as vias são os meios pelos quais os perigos podem deixar a fonte e alcançar o receptor.

Figura 4.35 - Modelo de contaminação FONTE – MEIO – RECEPTOR
Fonte: adaptado de Godfrey e Howard (2005b).

O modelo Receptor-Meio-Fonte de contaminação indica que somente a presença de um perigo no ambiente é insuficiente para representar um risco – é necessário existir um meio para que o perigo seja transportado da fonte até o sistema de abastecimento de água (receptor). Somente quando isto ocorre é que este processo é denominado evento perigoso. No desenvolvimento da avaliação de risco é importante considerar se é factível um perigo deixar sua fonte, ser transportado através do solo e penetrar em uma tubulação de água. Por exemplo, em alguns países, as redes primárias de água são implantadas mais profundamente que as redes de esgotos, ou seja, as tubulações estão assentadas em um solo que pode estar contaminado com esgoto que vazou da rede coletora, então existe um caminho viável de contaminação e, portanto, é um evento perigoso (GODFREY e HOWARD, 2005b).

Um evento perigoso sempre necessita medidas de controle. Um exemplo é a presença de um caminho preferencial entre um coletor de esgotos e uma rede. O evento perigoso poderia ser: “caminho preferencial/falha permitindo esgoto-água contaminada atingir interior de rede” ou então, como “esgoto contaminado atinge adutora”. Independente da forma de descrição do evento perigoso as medidas de controle não se alteram de forma significativa. A Figura 4.36 mostra exemplo de eventos perigosos (GODFREY e HOWARD, 2005b).

É preciso também identificar o sistema no qual o evento pode ocorrer, pois isto será importante para os estágios subsequentes de: classificação do risco, identificação das prioridades e desenvolvimento de planos de monitoramento operacional. Definir eventos perigosos que não possam ocorrer resulta desperdício de

recursos e análise de risco ou PSA de baixa eficácia. A contaminação cruzada entre rede coletora de esgotos e um trecho da rede não pode ocorrer em áreas onde não haja redes coletoras, da mesma forma que a contaminação de reservatórios por pássaros somente ocorrerá em reservatórios que tenham abertura de inspeção.

Figura 4.36 - Exemplo do Modelo de contaminação FONTE – MEIO – RECEPTOR

Fonte: adaptado de Godfrey e Howard (2004).

Para a classificação de risco é importante a localização no sistema no qual o evento perigoso pode ocorrer, porque para a determinação do risco é preciso considerar:

- a probabilidade de ocorrência e a severidade do impacto que é determinada através de abordagem qualitativa ou semi-quantitativa;
- a probabilidade de um evento ocorrer – é importante destacar que todos os eventos podem acontecer. Por exemplo, é provável a ocorrência do risco de fezes de pássaros atingirem uma abertura de inspeção de um reservatório. Os reservatórios são inspecionados frequentemente e é provável que uma abertura de inspeção possa ser deixada aberta regularmente, da mesma forma que é provável que pássaros empoleirados no entorno, defequem no topo de um reservatório;
- a priorização da ocorrência de eventos – por exemplo, o risco de ingresso de água contaminada dentro de tubulações - tem maior probabilidade de ocorrer em tubos mais velhos do sistema, em partes do sistema com tubulações de ferro dúctil, do que em partes mais novas do sistema com tubulações de PVC. É importante desenvolver este nível de entendimento do sistema e dos eventos perigosos que

nele podem ocorrer para a estimativa dos riscos e a priorização das áreas de controle.

Para definir áreas perigosas podem ser usadas informações sobre a topografia e condições sanitárias locais que incluem o cadastro da rede coletora de esgoto e mapas topográficos, indicando áreas com drenagem deficiente. A identificação de áreas com drenagem deficiente é essencial na determinação de pontos nos quais haja possibilidade de ocorrência do ingresso ou retrossifonagem de contaminantes. Quando não estiverem disponíveis informações detalhadas sobre o sistema de esgoto, podem ser utilizadas alternativas, tais como a população como um substituto da carga fecal. Pesquisas mostram existir forte relação entre a densidade populacional e a quantidade de matéria fecal no ambiente (HOWARD, 2002; FEACHEM et al., 1983a). Este procedimento foi utilizado para a estimativa de ambiente perigoso em Kampala, Uganda (GODFREY et al., 2002).

4.21.6.3 Caracterização da vulnerabilidade da rede de distribuição de água

O conhecimento da vulnerabilidade permite determinar quais unidades ou partes do sistema apresentam risco de ingresso de contaminantes. O primeiro passo é compreender o funcionamento hidráulico do sistema de distribuição de água, principalmente como operam os setores e zonas de abastecimento. É imprescindível que seja traçado o provável fluxo da água no sistema, a partir da unidade de tratamento, seguida dos reservatórios até atingir os setores e suas respectivas zonas de abastecimento.

O ponto central para caracterização da vulnerabilidade são os atributos físicos da rede de distribuição. As redes de distribuição compreendem tubos de variadas idades, diâmetros, materiais e comprimentos. Cada um deles possui diferentes níveis de vulnerabilidade, por exemplo, uma tubulação de aço antiga pode ser mais vulnerável à falhas (devido à idade e à corrosão) do que uma tubulação nova de PVC. Portanto, é fundamental que seja realizada uma seleção de indicadores apropriados para ser avaliada a vulnerabilidade para uma perfeita compreensão do risco a ser atribuído a uma tubulação. Para serem desenvolvidos indicadores eficazes de vulnerabilidade é importante avaliar os diferentes fatores ligados às características físicas das tubulações.

Esses indicadores são obtidos a partir de evidências da literatura técnica e também podem ser baseados no “julgamento de especialistas” do sistema. Em muitos sistemas de distribuição de água pode não haver dados disponíveis para caracterizar todos esses indicadores. Nestes casos, o julgamento de especialistas é a fonte primária de informações, apoiada na análise racional científica fundamentada na literatura técnica existente. Por exemplo, onde não houver informações sobre as juntas das tubulações é preciso consultar os profissionais que operam o sistema e que têm conhecimento a respeito da implantação ou reparo e podem detalhar que tipo de juntas foram usadas nas tubulações existentes.

Ta (2002) ao aplicar a modelagem de risco no sistema de distribuição de Londres, observou alto grau de incerteza em relação às informações sobre o material e a idade das tubulações. Neste caso, a idade das residências, ruas ou contrato dos terrenos nas proximidades dos tubos foi usada para predizer a idade das tubulações enterradas.

Howard (2002) também encontrou semelhante grau de incerteza em um estudo sobre riscos de rompimentos de tubulações em sistemas de distribuição de água no Reino Unido. Segundo os autores é limitado o conhecimento sobre a causa da ocorrência da ruptura das tubulações da rede. Vários fatores tais como movimento do solo, mudanças rápidas na temperatura do ar, tráfego pesado etc. têm sido relacionados como causa; contudo, ainda não foi estabelecida a parcela de influência de cada fator em relação às falhas das tubulações.

O Quadro 4.48 mostra indicadores recomendados para caracterizar a vulnerabilidade. Segundo Godfrey e Howard (2005b) esta relação não é exclusiva, mas foi baseada na experiência prática adquirida durante pesquisas realizadas nas quais esses indicadores mostraram ser de grande importância.

a) Idade da tubulação

Estudo conduzido por Herz sobre a relação entre idade e falhas na tubulação revelou que o ponto de partida deve ser a análise da qualidade das tubulações usadas na distribuição de água (HERZ e LIPKOW, 2002). O autor concluiu ser difícil prognosticar a durabilidade e a frequência de falhas nas tubulações, contudo ele mencionou que tais fatores são dependentes do material utilizado na fabricação da tubulação. Para Herz (1998), o prognóstico sobre a durabilidade deve ser baseado nos dados históricos de falhas das tubulações.

Quadro 4.48 - Indicadores de Vulnerabilidade

Categoria	Indicador	Razão
Vulnerabilidade da rede de distribuição	Idade da tubulação	Efeitos da degradação da tubulação tornam-se mais evidentes com o tempo.
	Diâmetro da tubulação	Tubulações de pequeno diâmetro são mais susceptíveis de apresentar falhas.
	Comprimento da tubulação e tipo de junta	Longas tubulações de água são mais sujeitas a quebras longitudinais.
	Material da tubulação	Combinando máximas pressões e corrosão no solo para indicar diferentes tipos de materiais.

Fonte: adaptado de Godfrey e Howard (2005b).

Em um projeto para reabilitação de tubulações da Teplic Water, no Nordeste da Boemia, foi proposto que a vulnerabilidade associada à idade da tubulação deveria considerar as seguintes variáveis: tipo de materiais das tubulações, idade, tempo de vida nas condições locais, frequência das falhas – admitido como 0,5 falhas por km por ano, perdas por vazamento e os trabalhos de reabilitação efetuados no passado (HERZ e LIPKOW, 2002). A pesquisa indicou ser possível estimar a durabilidade de diferentes materiais de tubulações em curto prazo (definido como tempo de vida inferior) e em longo prazo (tempo de vida superior). Esses períodos são dependentes do tipo de materiais das tubulações e variam em função do tempo, como mostra a Figura 4.37.

Lei e Suenung (1998) elaboraram uma classificação de falhas de tubos usando modelos estatísticos de predição; esse modelo, denominado ROCOP (sigla em inglês de *Rates of Occurrence of Failure*), foi aplicado no sistema de distribuição de Trondheim, Noruega. As três principais conclusões desse estudo foram:

- Falhas nos tubos plásticos – as tubulações plásticas são os materiais mais propensos a falhas em um período de 5 anos.
- Falhas em tubos metálicos – as tubulações metálicas são suscetíveis a falhas, principalmente devido ao aumento da corrosão e *pitting*, após aproximadamente 10 anos.

- Falhas em tubos metálicos revestidos – as tubulações metálicas revestidas, por exemplo o ferro dúctil, tem prognóstico de falha de 40 anos.

Figura 4.37 - Durabilidade da tubulação em função dos materiais.
Fonte: adaptado de Herz (1998).

Godfrey e Howard (2005b) relataram que estudos sobre falhas em tubulações apresentam séria limitação quanto à possibilidade de verificação local das condições das tubulações e, portanto, deve existir uma substancial tolerância quanto aos erros potenciais na metodologia utilizada. Citam, também, que a maioria desses estudos foi realizada em países de clima temperado e nem todas as conclusões seriam aplicáveis para climas tropicais. Apesar disso, esses estudos fornecem diretrizes valiosas pois, sem pesquisas de campo, com escavações para se avaliar as tubulações *in loco*, é difícil verificar o nível de vulnerabilidade associada à idade. Essas diretrizes foram aplicadas na avaliação de risco do sistema de abastecimento de água de Kampala, Uganda e são mostrados no Quadro 4.49 (GODFREY et al., 2002).

Quadro 4.49 - Risco atribuído a idade das tubulações do SAA de Kampala.

Material	Diâmetro (mm)	Idade	Risco
Cimento amianto	100	1960	Baixo
Ferro dúctil	300 – 800	1958 – 2009	Baixo
Ferro Galvanizado	<100	1959 – 2009	Médio
Polietileno	<100	1929 – 2009	Baixo / Alto
PVC	50 – 250	1935 – 2009	Baixo / Alto
Aço	50 – 250	1930 – 2009	Baixo / Alto

Fonte: Adaptado de Godfrey e Howard (2004).

Para aplicar essas diretrizes ao sistema de Kampala foi necessário estimar o percentual dos diferentes materiais das tubulações; para tanto foram usados os dados disponíveis e o julgamento de especialistas. Foi adotado que a rede era composta de aproximadamente: 60% de aço, 20% de PVC, 20% de ferro galvanizado e 10% outros. A rede primária original era de aço e foi instalada entre 1930 e 1950, posteriormente foi substituída por tubos de ferro dúctil.

Baseado na literatura (Herz, 1998; Herz e Lipkow, 2002; Ta, 2002), o estudo em Kampala concluiu que as tubulações de maior risco foram implantadas entre 1929 e 1958 e aquelas de menor risco foram instaladas após 1959 (GODFREY et al., 2002).

Godfrey et al. (2002) relatam que, nesses estudos, foi omitido um elemento importante que diz respeito ao controle da qualidade da execução dos serviços de implantação das tubulações. Em muitos países em desenvolvimento o assentamento de tubulações não segue padrões definidos por códigos de construção, seja pela inexistência de Código, por não serem obrigatórios ou porque não serem tecnicamente factíveis. A falta de controle ou fiscalização das obras de implantação das tubulações também pode aumentar o risco, independente da idade da tubulação.

Segundo Godfrey e Howard (2005b) os estudos revelaram que os dados da literatura são úteis, porém, a avaliação de risco relativa à idade da tubulação é

específica para cada local e tem forte dependência do julgamento de especialistas locais.

b) Diâmetro da tubulação

Estudos feitos sobre a relação entre diâmetro e falhas revelaram que as tubulações de grandes diâmetros, ou seja, tubulações com diâmetros superiores a 300 mm são menos suscetíveis a falhas do que tubos de diâmetros menores (COOPER et al., 2004; KIENE et al., 1998). Isto é devido a três razões:

- **Espessura da parede dos tubos** – a espessura da parede dos tubos aumenta com o diâmetro da tubulação. Tubulações maiores, portanto, são menos susceptíveis a falhas do que tubos de diâmetros menores.
- **Movimento do solo** – tubos maiores são menos susceptíveis a movimentos do solo devido ao tráfego do que tubulações menores, porque eles têm maior área superficial cimentada (COOPER et al., 2004).
- **Decaimento de Cloro** – estudos em tubulações mostraram que o decaimento de cloro é mais pronunciado em pequenos diâmetros. Este fato é devido ao aumento da absorção do cloro através do contato com a biomassa. Kiene et al. (1998), relatam que o decaimento do cloro é mais pronunciado em tubulações com diâmetros inferiores a 75 mm.

c) Comprimento da tubulação

Estudos desenvolvidos por Ballantyne e Moore (1995) e Geldreich (1996) revelaram que a vulnerabilidade de uma tubulação está diretamente relacionada ao seu comprimento por duas razões:

- **Tensão na tubulação** – é mais provável ocorrerem tensões transversais excessivas em tubulações mais extensas, que geralmente resultam em quebras longitudinais. Estudos sobre a vulnerabilidade de tubos à falhas devidas a terremotos corroboraram a hipótese que as falhas aumentam com o comprimento das tubulações (BALLANTYNE e MOORE, 1995).
- **Junta das tubulações** – O número de juntas aumenta com o comprimento da tubulação. Estudos têm identificado as juntas em tubos como um ponto de alto

potencial de risco para o ingresso de contaminantes. Os materiais usados, por exemplo, nas juntas dos tubos de água, e na vedação de rosca de tubos, também deveriam ser considerados como possíveis locais para a colonização microbológica, além de promoverem a formação de biofilme e aumentarem o consumo de cloro na rede de distribuição (GELDREICH, 1996).

Assim, com base na literatura, deve ser prescrita maior pontuação de risco para tubos com maior extensão.

d) Material da tubulação

Kiermeyer et al. (2001) reportam que a seleção do material da tubulação é uma das mais importantes variáveis na redução de risco de intrusão de agentes patogênicos em sistemas de distribuição. Godfrey e Howard (2005b) observaram que a seleção de materiais a serem utilizados em tubulações deveria considerar os seguintes aspectos:

- **Falha da tubulação** – definida como a suscetibilidade do material da tubulação para apresentar falhas. Um estudo sobre a deterioração estrutural de tubos feito por Rajani e Kleiner (2001) concluiu que tubos plásticos de grande diâmetro são mais propícios a falhas do que tubos metálicos. As falhas nas tubulações estão relacionadas a três fatores:
 - Propriedades estruturais do tubo (material, qualidade da instalação, interação tubo-solo),
 - Cargas internas (pressão de trabalho, tolerância a carga devido a tráfego),
 - Deterioração do material (ambiente bioquímico interno e externo).
- **Fricção do tubo** – representado pelo fator de rugosidade da tubulação, ele é particularmente importante como meio para definir o desempenho hidráulico da tubulação (por exemplo, taxa de rugosidade alta em tubos de cimento amianto) e potencial do tubo para suportar a formação de biofilme (GELDREICH, 1996).
- **Biofilme** – Pesquisa feita por LeChevallier observou que o desenvolvimento do biofilme foi mais rápido nas superfícies de tubos de ferro do que em PVC e referiu que a possível causa esteja ligada à corrosão e *pitting* (LeCHEVALLIER, 1999b). Experimentos em laboratório indicaram menor taxa

de formação de biofilme em PVC do que em tubos de polietileno de média densidade (KERR et al., 2000). Esta informação é de suma importância, pois a formação de biofilme em tubulações resulta no aumento do consumo de cloro e, conseqüentemente, reduz a proteção contra o ingresso de água contaminada nas redes. O biofilme é importante principalmente em sistemas intermitentes, nos quais a oscilação de pressão pode provocar o desprendimento e liberação da matriz de biofilme na massa líquida (GELDREICH, 1996).

- **Consumo de Cloro** – Kiene efetuou estudos sobre o consumo de cloro em tubos de materiais sintéticos e tubos metálicos e concluiu que o consumo de cloro em tubos metálicos é maior do que em tubos sintéticos devido ao excessivo decaimento de cloro em depósitos originados da corrosão (KIENE et al., 1998).

Em suma, a literatura destaca que tubulações metálicas têm menor risco de falhas do que as tubulações plásticas, entretanto tudo leva a crer que as tubulações metálicas sejam mais propícias à corrosão e que tenham maior capacidade para dar suporte a biofilmes, fato este que implica em redução na eficácia do cloro.

O Quadro 4.50 mostra um exemplo em que foram aplicados os princípios acima citados para a avaliação de risco em Guntur, Índia. A classificação de vulnerabilidade utilizada no Quadro 4.50 foi calculada para 4 tipos de materiais de tubulação presentes na rede de distribuição de água de Guntur: Cimento Protendido, Cimento Amianto, Ferro Fundido e PVC (GODFREY e HOWARD, 2005b). A classificação dos riscos devido a falhas, fricção e consumo de cloro foi considerada para cada material da tubulação do sistema de distribuição. Uma variável adicional financeira foi incluída, porque ela tem papel determinante na seleção de materiais de tubulações em países em desenvolvimento e essa opção pode adicionar vulnerabilidade ao abastecimento de água.

O Estudo concluiu que tubos metálicos são mais vulneráveis do que os tubos plásticos, visto que eles são mais propícios a falhas, fricção e têm maior custo de aquisição.

e) Indicadores Adicionais

Indicadores operacionais também podem ser utilizados na avaliação da vulnerabilidade. Godfrey et al. (2002) sugerem alguns indicadores que estão descritos no Quadro 4.51.

Quadro 4.50 - Risco devido aos materiais das tubulações.

Material do tubo	Falha	Fricção	Consumo de Cloro	Custo de aquisição	Vulnerabilidade
Concreto Protendido	Alto	Alto	Médio	Médio	Alto
Cimento Amianto	Baixo	Alto	Médio	Médio	Médio
Ferro fundido	Médio	Médio	Alto	Alto	Alto
PVC	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Fonte: adaptado de Godfrey e Howard (2005b).

A pressão hidráulica é de interesse em muitos países em desenvolvimento, nos quais o envelhecimento do sistema de distribuição pode ser afetado pela intermitência do abastecimento. Isto é de grande importância sanitária pois, após a intermitência, ocorre o recarregamento da rede de distribuição e de reservatórios, resultando em oscilações ou transientes hidráulicos no abastecimento. As tubulações mais antigas e deterioradas têm menor capacidade para enfrentar essas oscilações. Kiermeyer et al. (2001) relata que estudos feitos pela AWWARF, nos Estados Unidos, indicaram existir correlação direta entre ondas de pressões transientes e ingresso de contaminantes microbiológicos nos sistemas de distribuição de água. A ocorrência dessa contaminação é devida à entrada direta e do desprendimento do biofilme devido às ondas de pressão transitórias (GELDREICH, 1996; LeCHEVALLIER, 1999b).

O monitoramento utilizando medidores de pressão pode ser feito nos sistemas que possuam equipamentos para registro de transientes de pressão. Caso esses equipamentos estejam disponíveis à inspeção visual de campo poderão fornecer informações importantes sobre áreas vulneráveis à rupturas de tubulações e descontinuidade no abastecimento de água.

Outros fatores que afetam a vulnerabilidade de tubos de água à falhas são externos e podem ser assim descritos:

- Condição da fundação – leito impróprio pode resultar em prematura falha dos tubos;

- Condição de solo – corrosividade e nível de contaminação do solo próximo ao tubo;
- Profundidade de assentamento da tubulação – a profundidade de assentamento no solo ou a mistura de solo poderão variar com as profundidades;
- Carga de tráfego – aumento potencial de falha na tubulação em áreas de alta carga de tráfego;
- Localização da tubulação – condições próximas à tubulação, por exemplo, no fluxo de esgoto não tratado.

Quadro 4.51 - Indicadores Adicionais

Categoria	Indicador	Razão
Indicadores Operacionais	Pressão hidráulica	Pressão operacional alta possui um maior risco de falha em tubulações
	Histórico de rupturas	Numero de rupturas indicando as condições da tubulação
	Dados de vazamentos	Condição de vazamentos indicando condição da tubulação de água.
	Descontinuidade	Freqüentes esvaziamentos das tubulações dão maior risco de quebra de tubulações
	Qualidade da Água	Qualidade da água pode indicar condição de tubulação de água

Fonte: adaptado de Godfrey et al. (2002).

4.21.6.4 Descrição da Suscetibilidade dos usuários do serviço de abastecimento de água

A suscetibilidade é definida como a condição socioeconômica das populações que a torna mais propensas a desenvolverem problemas de saúde caso ocorra um evento de contaminação. Para estimar a suscetibilidade podem ser utilizados os dados de censos demográficos ou, alternativamente, envolver a avaliação socioeconômica do consumidor baseada em abordagens quantitativas do tipo inquéritos sanitários ou, ainda, em estimativas qualitativas abrangentes.

O fator suscetibilidade da população associado ao risco do sistema resultam na severidade ou grau de impacto – impacto potencial na saúde da população

causado por um evento de contaminação. Este produto pode ser usado como ferramenta adicional para auxiliar no planejamento, monitoramento e avaliação das atividades de melhoria da segurança da água.

Godfrey e Howard (2005b) recomendaram coletar dados socioeconômicos através de pesquisa de campo para avaliar a suscetibilidade da população. Os indicadores usados para definir o estado socioeconômico podem ser: tipo de habitações, material do telhado etc. O indicador de suscetibilidade é classificado em categorias de baixa até alta renda, para que sejam priorizadas áreas ou seções de risco do sistema de distribuição.

4.21.6.5 Métodos de avaliação de risco

Os valores dos indicadores fornece a base para a estimativa de risco de cada unidade do sistema de distribuição. Godfrey e Howard (2005b) indicaram três métodos para priorizar os riscos na avaliação de sistemas de distribuição de água:

- Avaliação qualitativa de risco;
- Avaliação semi-quantitativa de risco;
- Avaliação quantitativa baseada na modelagem matemática.

Estes métodos comparam o grau de importância de cada indicador usado e todos têm, em comum, o uso de indicadores ligados aos atributos das tubulações e a identificação de perigos relacionados ao ambiente onde os tubos estão assentados.

a) Avaliação qualitativa de risco

Este método é um processo simples no qual é feita a classificação qualitativa de risco. Em sistemas de distribuição de água com pouco ou nenhuma informação a respeito da vulnerabilidade e de ambientes perigosos é recomendado o uso de método qualitativo de estimativa de risco. Esse método, que tem forte dependência do julgamento de especialistas e do conhecimento local, permite ao operador avaliar e gerir riscos em redes na ausência de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e pode fornecer estimativa de risco qualitativa bastante precisa.

O método qualitativo associado ao mapeamento de risco, de abordagem genérica, é indicado para sistemas com dados limitados, por fornecer ao gestor de risco dados suficientes para estimar pontos do abastecimento com maior risco, além de permitir compartilhar as informações.

Godfrey e Howard (2005b) indicam que a elaboração da avaliação qualitativa de risco deve ser desenvolvida da seguinte forma:

- 1º. Passo: Coletar informações** – Coleta de todas as informações existentes sobre o sistema de abastecimento de água, desde o cadastro do sistema de distribuição, mapas cartográficos, cadastros da rede de esgoto, dados dos atributos das tubulações, dados da operação (rupturas, intermitência, qualidade da água) e dados populacionais. Os dados devem ser reunidos em “estratos”, os quais devem ser elaborados tendo como base o cadastro da rede de distribuição de água para a realização dos trabalhos. As demais informações devem ser desenhadas em estratos distintos e sobrepostas à base, ou seja, ao cadastro da rede de distribuição de água.
- 2º. Passo: Descrição do sistema** – quando não existirem cadastros ou mapas disponíveis deve ser elaborado um esquema geral do sistema de abastecimento de água: começando no manancial, passando pela adução, tratamento, reservação e, finalmente, atingindo a rede de distribuição. Se possível, deve ser detalhado o sistema de distribuição, principalmente em relação aos setores e zonas de abastecimento. Quando os dados de pressão não estiverem disponíveis, o sistema de distribuição de água pode ser setorizado utilizando como base as válvulas de controle existentes.
- 3º. Passo: Avaliação de perigos** – Deverão ser usados os cadastros sobre o esgotamento *in situ* ou redes coletoras de esgotos, caso estejam disponíveis, porque eles são úteis para definir áreas perigosas próximas à rede de distribuição de água. Atenção especial deve ser dada às redes que estejam implantadas em áreas alagadiças ou com drenagem natural insuficiente. Os perigos e as áreas perigosas devem ser delimitados no mapa de risco em estrato específico e, posteriormente, sobrepostos à base – cadastro da rede de distribuição de água.
- 4º. Passo: Avaliação da vulnerabilidade** – os indicadores de vulnerabilidade de cada trecho da rede de distribuição tais como idade, material, comprimento e diâmetro das tubulações deveriam ser determinados para todos os setores e zonas de abastecimento da rede de distribuição. Estas informações deveriam ser demarcadas em um terceiro mapa. Quando

não existirem dados básicos deve ser usado o julgamento de especialistas locais.

5º. Passo: Pontos de inspeção – deve ser feita avaliação qualitativa das informações disponíveis antes de usar o julgamento de especialistas do sistema no processo de classificação dos riscos. Quando não houver informação disponível para avaliar os pontos de inspeção é preciso usar o julgamento de especialistas para decidir quais pontos são realmente críticos. Esses pontos deverão constituir uma amostra representativa da rede. A integridade sanitária de cada ponto deveria ser testada em campo e os pontos de alto risco selecionados para monitoramento mais detalhado.

b) Avaliação semi-quantitativa de risco

O processo de avaliação semi-quantitativo é mais detalhado do que a simples estimativa de risco qualitativa, porque dá uma estimativa mais precisa do nível de risco a partir da soma total do nível de risco de cada variável. Este método associa a avaliação de partes individuais do abastecimento de água a métodos de classificação de riscos convencionais e permite determinar variáveis níveis de risco através do uso ou não de SIG. Para utilizar a abordagem semi-quantitativa é necessária a existência de um razoável conjunto de dados, entre eles:

- Informações sobre a população – número de habitantes, distribuição geográfica etc.;
- Dados sobre as características físicas e construtivas da tubulação; e
- Histórico de dados sobre qualidade da água (GODFREY e HOWARD, 2005b).

Se estas informações não estiverem disponíveis e não houver recursos para coletá-las, é recomendado que seja feita a estimativa de risco qualitativa. O processo semi quantitativo usa mapas eletrônicos ou digitalizados, diferente da abordagem qualitativa, usa matrizes para estimar e ponderar cada indicador de risco. Este método, por exemplo, permite comparar riscos associados a um tubo de aço de 6” assentado em 1960 com um tubo de PVC de 8” instalado em 1995.

É recomendado o uso de um programa computacional como o AUTOCAD que usa um sistema de estratos ou camadas (em inglês *layers*) sobre a rede de distribuição de água. Os mapas podem ser divididos nas categorias vulnerabilidade e

perigos e eventos perigosos. É recomendado que um mapa do sistema de distribuição de água seja usado como camada 1. Sobrepostas a esse mapa serão alocadas as fontes de perigos e a rede coletora de esgotos na camada 2 e 3, respectivamente. A vulnerabilidade da rede de distribuição deveria ser estimada com base nas zonas de abastecimento de água, com a identificação dos atributos dos tubos, nível de vazamento, intermitência do abastecimento e rupturas das tubulações sobrepostas em camadas separadas. Para cada indicador é recomendado que seja preparada uma matriz de risco com escala específica de risco: 1, 2 e 3, ou alto, médio e baixo.

Godfrey e Howard (2005a) propõem que esse método de avaliação obedeça às seguintes etapas:

- Relacionar cada ponto sob avaliação como um tipo de infra-estrutura no mapa (por exemplo, caixa de válvula, rede secundária etc.);
- Identificar a localização, limites administrativos e setor e zona de abastecimento ;
- Registrar a classe do risco para cada indicador de vulnerabilidade em uma matriz de classificação de risco;
- Identificar o número do tubo em que o ponto de risco está localizado;
- Inquirir sobre os atributos do tubo em cada ponto avaliado;
- Registrar a pontuação do risco para cada indicador de vulnerabilidade em uma matriz de classificação de risco;
- Calcular a pontuação do risco para cada ponto avaliado;
- Indicar a pontuação do risco para cada ponto no mapa;
- Estimar a extensão do risco em um ponto do mapa em relação aos demais pontos;
- Selecionar os pontos de risco de maior significado sanitário.

Godfrey et al. (2002) utilizaram esse método para avaliar os riscos no sistema de distribuição de água de Kampala, Uganda. O processo começou com a estimativa da pontuação do perigo e foi seguido pela estimativa da vulnerabilidade e pela suscetibilidade, culminando na elaboração da matriz de valoração dos riscos mostrada no Quadro 4.52.

Segundo Godfrey et al. (2002), as pontuações foram específicas para Kampala e não deveriam ser usadas como “padrão” para a classificação dos riscos de outros sistemas. Em Kampala somente 10% da população tem acesso à rede coletora de esgoto e foi difícil classificar os outros tipos de disposição ou tratamento dado aos

esgotos em áreas não servidas pela rede coletora. Para cada categoria foi fixado um valor de perigo nominal, o qual refletiu o perigo associado à carga fecal. A estimativa da carga fecal, por sua vez, foi baseada na estimativa populacional, ou seja, quanto maior a população maior a pontuação do perigo. A pontuação foi definida em função de cada comunidade em particular, como ilustra o Quadro 4.52.

Quadro 4.52 - Pontuação de risco em função da população

População (habitantes)	Categoria	Perigo
36.992 – 16.364	Alta	4
15.974 – 7.833	Média	3
7.689 – 3801	Baixa	2
3.716 – 687	Muito Baixa	1

Fonte: adaptado de Godfrey et al. (2002).

Com uso de mapas, os pesquisadores puderam identificar os ambientes perigosos nos quais as tubulações de água estavam localizadas. Para facilitar a comparação entre os dados foi usado o nome das comunidades para identificar as áreas com problemas de drenagem da água superficial. Para as comunidades situadas dentro dessas áreas e suscetíveis à interrupção do fornecimento de água foi fixado um valor nominal 1 (áreas perigosas) e aquelas comunidades fora das áreas de baixa drenagem foi conferida uma pontuação nominal 0 (área não perigosa). Cada ponto identificado dentro do sistema de distribuição de água recebeu pontuações, as quais foram computadas dentro de uma matriz geral de pontuação de risco. Por exemplo, um reservatório localizado em uma comunidade com elevada população foi dada a pontuação de perigo indicado no Quadro 4.53.

Uma vez feita a estimativa de risco para todos os indicadores foi calculada a pontuação geral de risco para cada ponto de inspeção. O uso de uma abordagem de avaliação de risco quantitativa permitiu combinar todas as variáveis para calcular a pontuação total de risco, a qual pode ser vista no Quadro 4.54. Em Godfrey et al. (2002) e Tibatemwa et al. (2003) é possível obter exemplos detalhados da aplicação deste método.

Quadro 4.53 - Matriz de Pontuação Semi-Quantitativa de Riscos

Pontos de Amostragem	Categoria dos Pontos de Amostragem	Suscetibilidade			Perigo		Vulnerabilidade									M				
		Tipo de Residência	Tipo de Telhado	RISCO	Comunidade (População)	RISCO	Fonte de Perigo		Ambiente Perigoso	Atributos da tubulação								Dados de desempenho do monitoramento		
										Comprimento (m)	RISCO	Diâmetro (mm)	RISCO	Material	RISCO	Idade	RISCO	Ruptura de tubos (p/a)	Descontinuidade (p/a)	Vazamentos (p/a)
Booster Namirembe																				
Comunidade Namirembe	Estação Pressurizadora	VL	H	H	Namirembe	L	M	L												
Trecho de tubulação de número 2209																				

Nota: VL : muito alto; H: alto; M: médio e L: baixo

Fonte: adaptado de Godfrey et al. (2002).

Quadro 4.54 - Pontuação de Perigo conforme o ponto de amostragem.

Ponto de amostragem	Fonte de perigo			Ambiente perigoso		Pontuação do Perigo
	Comunidade	Densidade populacional	Risco	Drenagem deficiente (Sim/Não)	Risco	
Reservatório próximo Mosque CRN: 2317/556	Katwe	Alta	4	Sim	1	5

Fonte: Adaptado de Godfrey et al. (2002).

c) Avaliação de risco através de modelagem matemática

A avaliação baseada na modelagem matemática é um método mais complexo de classificação de risco. Este método utiliza a combinação de Lógica Fuzzi, método de avaliação multi-critério e, necessariamente, um SIG para estimar riscos em redes de distribuição.

A “Avaliação de Risco Integrada – Sistema de Distribuição de Água (em inglês *Integrated Risk Assessment – Water Distribution System* - IRA-WDS) é um exemplo deste método de avaliação de risco para sistemas de distribuição de água em áreas urbanas para países em desenvolvimento.

O modelo IRA-WDS possui três componentes básicos:

- Modelo de entrada dos contaminantes.
- Modelo de avaliação das condições das tubulações.
- Modelo de Avaliação de Risco.

A Figura 4.38 mostra a relação existente entre esses modelos - informações detalhadas sobre este método podem ser obtidas em VAIRAVAMOORTHY et al. (2006).

O nível dos serviços de abastecimento de água nos países em desenvolvimento é muito variável; da mesma forma variam muito os níveis de desenvolvimento socioeconômico das populações. A escassez de recursos e de informações dos serviços não deve ser um impeditivo para a realização de um Plano de Segurança da Água. Um sistema realista e prático consiste em estabelecer um PSA adaptado à situação local e aos recursos disponíveis e consolidar o Plano e, na medida possível, progressivamente ser desenvolvido o sistema até alcançar o nível desejado.

Figura 4.38 - Componentes Principais da Avaliação de Risco Integrada – Sistema de Distribuição de Água – IRA-WDS.

Fonte: adaptado de Vairavamorthy et al. (2006).

Os três métodos de avaliação de risco apresentados permitem sua realização em etapas ou níveis. A ausência de informações sobre o sistema de abastecimento de água leva, necessariamente, a iniciar o PSA com um método qualitativo de avaliação de risco; à medida que sejam conseguidas maiores informações sobre o sistema de distribuição será possível usar o método semi-quantitativo e, por fim, quando estiverem disponíveis todas as informações necessárias é possível fazer o uso da modelagem matemática.

Os Planos de Segurança de Água produzem, como resultado, maior e melhor conhecimento de como é operado o sistema de distribuição e, necessariamente, indica pontos ou lacunas nos quais é preciso buscar maiores informações. Por outro

lado, os PSAs são processos iterativos, portanto, é sempre possível e necessário que a gestão de risco nos sistemas de distribuição de água seja atualizada e aperfeiçoada.

4.21.7 Mapas de risco

Os mapas de risco constituem instrumentos auxiliares e devem ser usados em quaisquer dos métodos de avaliação de risco. Saegrov et al. (1999) relataram que mapear é ferramenta poderosa e valiosa que usa o Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) ou as técnicas tradicionais de cartografia para avaliação de risco. Contudo, a literatura existente sobre o mapeamento de risco em sistemas de distribuição de água foca nos riscos de rompimentos ou análises, necessidades e estratégias em relação à reabilitação das tubulações (Ta, 2002). O mapa de risco por ser uma representação visual que auxilia os operadores a entender as mudanças na vulnerabilidade do sistema. Portanto, o desenvolvimento do mapeamento em relação ao risco de entrada de contaminantes é um grande desafio para os serviços de água, principalmente em países em desenvolvimento, nos quais os serviços frequentemente têm informações limitadas sobre os sistemas de distribuição de água (GODFREY e HOWARD, 2005b).

A combinação das variáveis e indicadores usados em quaisquer dos métodos de avaliação em uma matriz de risco é a base para a construção de mapas de risco.

O desenvolvimento de mapas de risco auxilia o PSA na identificação de pontos de risco dentro do abastecimento e prioriza áreas para controlar a segurança da água dentro do sistema. Como a rede de tubulações está enterrada, os mapas de risco utilizam indicadores para auxiliar sua avaliação e gestão em sistemas de distribuição. Esses indicadores servem para avaliar a vulnerabilidade da tubulação ou para avaliar os perigos ao utilizar, por exemplo, a densidade populacional como substituto da carga fecal. O uso desses indicadores auxilia a priorização dos tubos com maior risco de contaminação.

O sistemático uso de mapas de risco pode contribuir para o entendimento de como os riscos se comportam no tempo e espaço e auxiliar os gestores a priorizarem os investimentos no sistema. Os mapas também podem identificar pontos de vulnerabilidade e indicar a maneira pela qual os riscos sanitários específicos em um sistema de abastecimento podem ser monitorados e reduzidos e, portanto, são ferramentas úteis para desenvolvimento de técnicas de gestão como os PSAs.

Segundo Godfrey e Howard (2005b) os mapas de riscos, conceitualmente, podem ser divididos em dois tipos:

- **Mapas de riscos estáticos** – mapas estáticos detalhando riscos existentes;
- **Mapas de riscos variáveis** – mapas dinâmicos detalhando riscos variáveis, isto é, mapas que são atualizados em função do tempo ou de condições operacionais.

Existe uma variedade de programas computacionais disponíveis que podem ser usados para desenvolver mapas de risco, que vão desde aqueles de livre acesso até programas de SIG comerciais (GODFREY e HOWARD, 2005b).

Entretanto, para desenvolvimento da avaliação de risco e planos de gestão é possível desenvolver os mapas de risco sem utilizar programas computacionais. Por exemplo, o uso de cópias impressas de mapas, com camadas sobrepostas impressas ou desenhadas em papel podem resultar valiosa ferramenta para avaliação e gestão de risco em um sistema de distribuição de água.

4.21.8 Determinação das medidas de controle

As medidas de controle são ações ou atividades aplicadas para prevenir, eliminar ou reduzir perigos a um nível aceitável, portanto, a própria atividade de gestão de risco é uma medida de controle. Exemplos de outras medidas de controle em sistemas de distribuição:

- Manutenção do sistema de distribuição;
- Disponibilidade de sistemas de reserva – por exemplo, geradores a diesel quando da falta de energia elétrica;
- Manutenção de adequado residual de desinfetante;
- Presença de dispositivos para prevenir conexões cruzadas ou retrossifonagem;
- Uso de sistemas de distribuição de água totalmente fechados;
- Apropriados procedimentos de reparo, incluindo desinfecção das redes após sua conclusão;
- Manutenção da pressão em níveis aceitáveis;
- Manutenção da segurança para prevenir sabotagem, acesso ilegal ou vandalismo

As medidas de controle estão intimamente relacionadas com eventos perigosos e, portanto, elas precisam ser compostas por ações que visem prevenir a

ocorrência desses eventos. Na identificação das medidas de controle é necessário estabelecer critérios para diferenciar o desempenho das unidades em aceitável ou inaceitável, determinando pelo menos uma medida de controle para cada evento perigoso e, também, estabelecer limites críticos que descreverão se a medida de controle está funcionando em conformidade ou se há falta de controle – não conformidade com os limites operacionais prescritos. Estes critérios são referidos como “limites operacionais”; são medidas de controle variáveis, que podem ser mensuradas de forma direta ou indireta ou, ainda, fatores que podem ser observados. Exemplos de variáveis mensuráveis incluem valores mínimos e máximos para pH, residual de cloro ou pressão hidráulica em locais estratégicos do sistema de distribuição – um exemplo de um fator que pode ser observado é a integridade física das telas de proteção instaladas nas aberturas de ventilação dos reservatórios. A legislação vigente, as normas, manuais, padrões e especificações técnicas dos fabricantes de equipamentos e produtos – aliados ao histórico de dados operacionais do sistema – podem ser usados como diretrizes para determinação desses limites. Segundo Godfrey et al. (2002) um limite operacional ideal tem as seguintes propriedades:

- Podem ser definidos e monitorados – direta ou indiretamente – através de parâmetros ou indicadores.
- Resposta pré-determinada – isto é, uma ação corretiva é implementada sempre que o monitoramento indicar ter havido desvio dos limites operacionais.
- A ação corretiva resultará na volta a limites operacionais aceitáveis ou implicará na adoção de medidas de controle adicionais para assegurar a proteção da água.
- O processo de detecção do desvio dos limites e a resposta, através de ação corretiva, deverão ser suficientemente rápidos para garantir a proteção da água.

As medidas de controle devem ser descritas de forma clara para facilitar a tomada de decisão necessária à redução de riscos. Como exemplo um evento perigoso em que uma adutora esteja submersa em esgoto vazando de uma rede coletora, a medida de controle deveria ser “uma barreira de interrupção de “xis” metros de profundidade a ser mantida entre a adutora de água e a rede coletora”.

As medidas de controle já podem estar implantadas e, portanto, o PSA simplesmente será um meio para documentar como a segurança está garantida e enfatizar a importância dessa medida. Em outros casos, a medida de controle a ser adotada poderá representar a inclusão de nova prática de trabalho e, portanto, o PSA pode auxiliar a justificativa de implantação de novas práticas.

Em outros casos, a medida de controle implicará em novos investimentos. Esses investimentos não devem fazer parte do PSA, mas precisam estar nele relacionados, pois constituem ações necessárias para a segura gestão da água. Cabe ao serviço de abastecimento de água garantir que esses investimentos sejam devidamente planejados e efetivamente realizados. No entanto, devido à falta de medidas de controle efetivas imediatas, deve ser mantido um monitoramento contínuo dos problemas de segurança da água até que sejam realizados os investimentos previstos.

Na identificação de medidas de controle deve ser considerada a natureza do evento perigoso, a fonte de perigo, o ponto de entrada no abastecimento e o local em que a intervenção seria mais custo-eficazmente aplicada. O controle de um evento perigoso pode ser alcançado através das ações:

- Na fonte do perigo (remoção, contenção ou tratamento);
- Interrompendo a trajetória (remoção, contenção ou diversão);
- No abastecimento (prevenção da entrada ou tratamento).

É preferível que a ação seja tomada na fonte do perigo ou na trajetória, antes de serem alcançadas as unidades do sistema de abastecimento, pois são ações que atingem indiretamente a rede e podem ser realizadas antes que o problema ocorra efetivamente. Portanto, deve ser dada preferência para ações preventivas tais como remoção, contenção ou restrição dos perigos ou de sua trajetória, ao invés do tratamento do perigo. Em alguns casos, a medida de controle pode focar no precursor de um evento perigoso; por exemplo, um aspecto cuja presença ou ausência torna mais fácil a ocorrência de um evento perigoso. A falta de uma barreira, por exemplo, aumenta a probabilidade de um número de eventos perigosos (tais como o ingresso de fezes animais através de tubos danificados e o acesso de animais em reservatórios de serviço), mas uma barreira em si não constitui e nem resulta um evento perigoso.

A seleção de apropriadas medidas de controle é influenciada pela exeqüibilidade das ações e o custo relativo dessas medidas; assim, embora seja

preferível remover as fontes de perigos ou interromper sua trajetória, pode ser custo-eficaz focar em medidas no próprio sistema de abastecimento de água. Em alguns casos, pode não ser possível aplicar intervenções imediatas sobre a fonte de perigo, por dependerem da ação de outros órgãos ou por necessitarem longo tempo para serem implantadas. Ações dirigidas às fontes de perigo e sua trajetória ainda podem deixar perigos residuais dentro do ambiente, os quais necessitam controles adicionais; portanto, é provável que, para muitos eventos perigosos, algumas medidas de controle sejam necessárias no próprio abastecimento de água para prevenir o ingresso de contaminantes no sistema de distribuição. O Quadro 4.55 descreve algumas medidas de controle que podem ser aplicadas em um Plano de Segurança da Água.

Quadro 4.55 - Exemplos de Medidas de Controle

Ação	Exemplos
Remoção de fontes de perigo	<ul style="list-style-type: none"> – Remover, em períodos críticos, animais da bacia hidrográfica na qual esteja inserido o manancial – Remover soluções individuais de esgotamento sanitário das áreas de recarga do aquífero.
Restrição de fontes de perigo	<ul style="list-style-type: none"> – Implantar soluções sanitárias adequadas para o esgotamento sanitário das comunidades que habitam áreas de recarga de aquíferos ou em bacias hidrográficas que está inserido o manancial – Implantar revestimento de concreto em drenos – Garantir o revestimento de aterros sanitários – Assegurar reservatórios impermeáveis de produtos químicos – Restringir a disposição de resíduos de produtos químicos – Reduzir a infiltração de esgoto
Tratamento na fonte do perigo	<ul style="list-style-type: none"> – Tratar o chorume produzido nos aterros sanitários – Tratar o esgoto sanitário na bacia – Tratar e dispor adequadamente os resíduos industriais
Interrupção da via de transmissão	<ul style="list-style-type: none"> – Implantar barreiras sanitárias entre a rede coletora de esgoto e as unidades do sistema abastecimento de água – Proteger as aberturas de ventilação dos reservatórios
Prevenção de precursores	<ul style="list-style-type: none"> – Cercar os reservatórios de serviço – Reduzir a carga de tráfego sobre tubulações principais
Ações no abastecimento	<ul style="list-style-type: none"> – Reduzir vazamentos (menos ingresso) – Reduzir intermitência no abastecimento

Fonte: adaptado de Godfrey et al. (2005b).

A comunicação é outro componente crucial das ações corretivas e deveria ser incluída nos planos corretivos. Portanto, um procedimento para notificar os consumidores mais importantes – por exemplo, hospitais – e as autoridades sanitárias.

Os Quadros 4.61 a 4.75 detalham as principais medidas de controle segundo as causas em sistemas de distribuição de água.

4.21.9 Monitoramento da rede de distribuição de água

Existem três tipos de monitoramento na gestão da rede de distribuição – operacional, validação de processos e de verificação – cada qual tem objetivos próprios como mostra o Quadro 4.60.

4.21.9.1 Monitoramento operacional

O monitoramento operacional envolve uma seqüência de observações ou medições programadas para avaliar se as medidas de controle aplicadas no sistema estão atingindo seus objetivos. A eficácia do monitoramento depende do que é monitorado, como, quando e por quem. Na maioria dos casos, o monitoramento operacional de rotina é baseado na verificação da integridade física e na realização de testes simples como turbidez, cor, pH, ao invés de complexas análises químicas ou demorados exames microbiológicos.

Quadro 4.56 - Tipos de monitoramento de sistemas de distribuição de água.

Tipo de monitoramento	Objetivo
Operacional	Auxiliar o gerenciamento das operações do sistema, para garantir a segurança e assegurar que as medidas de controle são efetivas.
Validação dos Processos	Demonstrar que as medidas de controle são capazes de atingir os requerimentos desejados
Verificação	Certificar a correta operação do sistema de abastecimento como um todo.

Fonte: adaptado de Stevens et al. (2004).

Quadro 4.57 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede distribuição de água relacionadas a pressão.

Evento: Contaminação da água na rede de distribuição causada pela flutuação de pressão.			
Possíveis Perigos: Microrganismos e compostos químicos conforme a natureza da fonte de contaminação			
Nível de Risco: Alto (baixa pressão pode permitir retrossifonagem)			
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas	
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias
Pressão insuficiente em qualquer parte da rede, ou ocorrência de elevada demanda de água	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar a rede através de modelos para identificar potenciais áreas com problemas de pressão. • Verificar regularmente a vazão nos hidrantes ou a correlação dos dados de pressão e vazão do Corpo de bombeiros e do operador do serviço. • Planejar remanejamento ou limpeza do revestimento interno das tubulações. • Desenvolver programas para realizar anualmente pesquisa e detecção de vazamento e efetuar os devidos reparos. Dados: <ul style="list-style-type: none"> – Reclamações dos consumidores – Retorno do Corpo de bombeiros • Implementar política de conservação da água – por exemplo restrição para rega de jardins, campanhas públicas para redução do consumo de água. • Aumentar a vazão na estação de tratamento de água. • Reduzir a pressão em todo o sistema ou em parte dele. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vazão • Pressão • Consumo • Saída da Estação de Tratamento de Água • Qualidade microbiológica da água distribuída 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da vazão acima dos valores normais. • Flutuações de pressão. • Níveis dos reservatórios fora do padrão normal de operação. • <i>E. coli</i> ou coliformes detectados em 100 ml de amostra de água.
			<ul style="list-style-type: none"> • Rever a modelagem da rede para melhor identificar potenciais áreas com problemas. • Revisar regime de bombeamento • Revisar programa de remanejamento de redes • Assegurar que as válvulas contra retrossifonagem estão instaladas em locais onde é possível verificar e auditar sua correta operação • Alterar a estratégia de conservação da água

Fonte: adaptado de New Zealand (2001a).

Quadro 4.58 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede distribuição de água relacionada a pressão.

Evento: Contaminação da água na rede de distribuição causada pela flutuação de pressão.			
Possíveis Perigos: Microorganismos e compostos químicos, conforme a natureza da fonte de contaminação			
Nível de Risco: Alto (baixa pressão pode permitir retrossifonagem)			
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas	
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias
Falha na tubulação ou penetração accidental	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorar continuamente a vazão na estação de tratamento de água e nos reservatórios. • Fixar tempo de resposta máxima para atender reclamações dos consumidores, e ter procedimentos estabelecidos para isolar falhas e minimizar seus impactos. • Estabelecer e publicar número de telefone para comunicação de falhas e emergências. • Identificar áreas críticas onde a qualidade da água é ruim. • Definir um protocolo para empreiteiras que executam os serviços e verificar se ele está sendo cumprido. • Desenvolver um programa de controle de pressão para todo o sistema, ou zonas selecionadas, incluindo o uso de: <ul style="list-style-type: none"> – Fontes auxiliares ou complementares – por exemplo poços. – Válvulas redutoras de pressão e válvulas sustentadoras de pressão. – Alteração nos níveis dos reservatórios etc. • Executar um programa anual de detecção de vazamentos em todo o sistema ou em zonas selecionadas. • Assegurar que materiais adequados estão sendo usados na implantação das redes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vazão • Pressão • Frequência e localização das falhas • Qualidade microbiológica da água distribuída 	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa de falhas nas tubulações maiores do que a média esperada para as mesmas condições hidráulicas. • Número inaceitável de rupturas por causa do não atendimento do protocolo de construção. • <i>E. coli</i> ou coliformes detectados em 100 mL de amostra de água
		Ações corretivas <ul style="list-style-type: none"> • Rever a modelagem da rede para otimizar pressões e vazões. • Revisar protocolo dos empreiteiros. 	

Fonte: adaptado de New Zealand (2001a).

Quadro 4.59 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede de distribuição de água relacionadas a pressão.

Evento: Contaminação da água na rede de distribuição causada pela flutuação de pressão.			
Possíveis Perigos: Microrganismos e compostos químicos conforme a natureza da fonte de contaminação			
Nível de Risco: Alto (baixa pressão pode permitir retrossifonagem)			
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas	
		O que verificar	Ações corretivas
Evento não previsível tal como um incêndio de grandes proporções	<ul style="list-style-type: none">• Verificar regularmente se as ventosas estão funcionando efetivamente.• Executar imediata investigação quando ocorrerem reclamações de água com cor• Implantar reservatórios em elevações que minimizem o uso de unidades de bombeamento.• Assegurar que as reservas de incêndio recomendadas estão sendo mantidas.• Usar uma estação pressurizadora se fontes auxiliares não estão disponíveis.	<ul style="list-style-type: none">• Nível dos reservatórios• Pressão• Reclamação dos consumidores• Qualidade microbiológica da água distribuída	<ul style="list-style-type: none">• Pressão fora da faixa normal de operação• Reclamação dos consumidores sobre água suja e falta de pressão• <i>E. coli</i> ou coliformes detectados em 100 mL de amostra de água
			<ul style="list-style-type: none">• Re-examinar a modelagem da rede para determinar meios para manter a pressão nessas circunstâncias.
Falha do sistema de bombeamento para a zona alta ou reservatório	<ul style="list-style-type: none">• Instalar conjunto moto-bomba reserva com auto-partida.• Instalar gerador para eventuais falta de energia elétrica.• Programa de manutenção preventiva nos conjuntos moto-bombas.	<ul style="list-style-type: none">• Conjuntos moto-bomba• Pressão• Qualidade microbiológica	<ul style="list-style-type: none">• Parada dos conjuntos moto-bombas• Reclamações dos consumidores• Diminuição da pressão• <i>E. coli</i> ou coliformes detectados em 100 mL de amostra de água
			<ul style="list-style-type: none">• Trazer água de outras zonas se possível.• Iniciar programa de manutenção preventiva.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001a).

Quadro 4.60 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede de distribuição de água relacionadas a pressão.

Evento: Contaminação da água na rede de distribuição causada pela flutuação de pressão.				
Possíveis Perigos: Microrganismos e compostos químicos conforme a natureza da fonte de contaminação				
Nível de Risco: Alto (baixa pressão pode permitir retrossifonagem)				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		Ações corretivas
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	
Falha dos conjuntos moto-bombas dos poços	<ul style="list-style-type: none">• Monitorar o desempenho dos poços diretamente ou usando equipamentos.• Executar programa de manutenção preventiva para as bombas dos poços e programar melhoria nas unidades bombeamento.• Monitorar a vazão dos poços.• Monitorar a pressão na rede de distribuição.	<ul style="list-style-type: none">• Vazão do poço• Pressão• Qualidade microbiológica da água distribuída	<ul style="list-style-type: none">• Parada das bombas dos poços• Redução na vazão dos poços• Diminuição na pressão na zona de abastecimento atendida pelo poço• <i>E. coli</i> ou coliformes detectados em 100 mL de amostra de água	<ul style="list-style-type: none">• Identificar razões para a falha das bombas dos poços e consertá-la.• Iniciar programa de manutenção preventiva.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001a).

Quadro 4.61 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede de distribuição de água relacionado a operação.**Evento:** Contaminação da rede de distribuição de água devido a problemas com a operação do sistema**Possíveis Perigos:** Microrganismos e determinadas substâncias químicas (dependendo da natureza do material)**Nível de Risco:** Alto

Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		Ações corretivas
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	
Área afetada não pode ser corretamente isolada	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar rede, válvulas e associá-las a manutenção da rede. • Realizar regularmente manobras nas válvulas e determinar suas condições operacionais. • Equipe de manutenção adequadamente treinada com conhecimento sobre a correta operação das válvulas. • Considerar áreas com baixa pressão, pontos altos, extremidades, válvulas e hidrantes. • Controlar ligações domiciliares e também aquelas não ligadas à rede. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadastro técnico da rede de distribuição de água 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadastro da rede não é regularmente atualizado • Ausência do conhecimento das condições operacionais das válvulas • Equipe de manutenção não adequadamente treinada. • Riscos de contaminação não identificados e documentados 	<ul style="list-style-type: none"> • Auditoria completa no cadastro técnico da rede. • Identificar membros da equipe de manutenção que necessitam treinamento e providenciá-lo.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.62 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede de distribuição de água relacionadas a operação.

Evento: Contaminação da rede de distribuição de água devido a problemas com a operação do sistema				
Possíveis Perigos: Microrganismos e determinadas substâncias químicas (dependendo da natureza do material)				
Nível de Risco: Alto				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	Ações corretivas
Diminuição da pressão na rede	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar dispositivo de prevenção contra retrossifonagem. • Identificar e mapear as áreas com baixa pressão, pontos altos, extremidades, válvulas e hidrantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pressão • Vazão • Turbidez (se há possibilidade de solo estar sendo carregado para dentro da rede • <i>E.coli</i> e coliformes 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos de prevenção contra retrossifonagem não instalados onde necessário • Baixa ou pressão negativa em partes da rede 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar dispositivos de prevenção contra retrossifonagem.
Desconhecimento ou falta de controle da direção do fluxo de água na área afetada ou	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar a direção do fluxo da água através de informações sobre pressão e de produtos químicos antes de executar os trabalhos de manutenção. • Para redes principais, usar a modelagem da rede ou traçadores químicos para determinar a direção do fluxo antes de executar qualquer trabalho de manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadastro Técnico e verificação dos procedimentos operacionais 	<ul style="list-style-type: none"> • Constatação que o fluxo da água previsto é incorreto 	<ul style="list-style-type: none"> • Rever a modelagem hidráulica do sistema.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.63 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede distribuição de água relacionadas a operação.

Evento: Contaminação da rede de distribuição de água devido a problemas com a operação do sistema				
Possíveis Perigos: Microorganismos e determinadas substâncias químicas (dependendo da natureza do material)				
Nível de Risco: Alto				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		Ações corretivas
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	
Não adoção de Normas Operacionais Higiênicas	<ul style="list-style-type: none"> Práticas de trabalho para manutenção da rede em conformidade com os procedimentos padrão. Verificar junto à equipe de operação do sistema de abastecimento de água; não deveria ser permitido trabalhar em sistemas de água para consumo humano até que eles tenham obtido certificado médico informando que eles estão saudáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores bacterianos na água após manutenção Cadastro Técnico e procedimentos operacionais 	<ul style="list-style-type: none"> <i>E. coli</i> ou coliformes detectados em 100 mL de amostras de água logo após a manutenção do sistema Erros detectados pela auditoria 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar as necessidades de treinamento da equipe de manutenção e providenciá-los. Repetir a desinfecção do trecho da rede reparado. Auditar os procedimentos.
Inadequado treinamento da equipe de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> Treinamento interno ou externo fornecido para garantir que as equipes estão conscientes dos problemas de qualidade e a importância de boas práticas de trabalho. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar <i>in locu</i> os recursos e dados do treinamento 	<ul style="list-style-type: none"> Inadequada supervisão da equipe por pessoal qualificado Inadequados recursos ou dados do treinamento 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar as necessidades de treinamento da equipe de manutenção e providenciá-los.
Uso de material inadequado	<ul style="list-style-type: none"> Somente usar material certificado ou aprovado. 	<ul style="list-style-type: none"> Dados sobre especificação de materiais 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de material não aprovado no sistema de distribuição Dados de materiais em uso inadequados 	<ul style="list-style-type: none"> Substituir com itens de qualidade adequada.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.64 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede distribuição de água relacionadas a operação.

Evento: Contaminação da rede de distribuição de água devido a problemas com a operação do sistema				
Possíveis Perigos: Microorganismos e determinadas substâncias químicas (dependendo da natureza do material)				
Nível de Risco: Alto				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	Ações corretivas
Inadequada descarga da rede e das práticas de desinfecção durante reparos ou no comissionamento de novas redes	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolver e usar um código de práticas para a limpeza e desinfecção de tubulações. Garantir que exista um residual de cloro a montante e jussante da área comissionada ou reparada. Manter um residual de desinfetante. 	<ul style="list-style-type: none"> Concentração de cloro disponível livre. Qualidade microbiológica Turbidez 	<ul style="list-style-type: none"> Nenhuma documentação da direção do fluxo de água na rede. Excessivas reclamações dos consumidores ou notificação de doenças suspeitas. Cloro residual disponível livre não pode ser mantido em mais de 0,2 mg/L após a limpeza, desinfecção e descarga das áreas afetadas. Cloro disponível livre no trecho da rede afetado não mantém mais de 10 mg/L por 30 minutos. <i>E. coli</i> ou coliformes detectados em amostras 100 mL. Turbidez maior do que 0,5 UNT. 	<ul style="list-style-type: none"> Notificar as autoridades sanitárias se existirem mais de 10 <i>E. coli</i> em uma amostra de 100 mL, ou se a contaminação por <i>E. coli</i> persistir. Identificar razões para inadequado residual e corrigi-lo.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.65 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede distribuição de água relacionadas a operação.

Evento: Contaminação da rede de distribuição de água devido a problemas com a operação do sistema				
Possíveis Perigos: Microrganismos e determinadas substâncias químicas (dependendo da natureza do material)				
Nível de Risco: Alto				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		Ações corretivas
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	
<i>Bypass</i> temporário indesejável ou abastecimento pelo <i>bypass</i>	<ul style="list-style-type: none"> Garantir que o equipamento está limpo e foi usado apenas no abastecimento de água. Manter cloro residual Fornecer treinamento para equipes de manutenção para garantir que eles tenham entendimento sobre os problemas decorrentes da falta de higiene O uso de <i>bypass</i> provavelmente resultará em um “incidente com água com cor”. Os consumidores especialmente aqueles com necessidades de água de qualidade especial (por exemplo, hospitais, indústrias de alimentos), precisam ser informados da provável deterioração da qualidade da água. 	<ul style="list-style-type: none"> Cloro disponível livre Qualidade microbiológica 	<ul style="list-style-type: none"> Falha em atender aos padrões de potabilidade Inadequada documentação 	<ul style="list-style-type: none"> Treinamento da equipe de manutenção. Re-auditando procedimentos. Identificar razões para inadequado residual e corrigi-lo. Identificar necessidade de treinamento e providenciá-lo.
Contaminação durante amostragem	<ul style="list-style-type: none"> Fornecer locais seguros para amostragem que permita acesso sem risco de contaminação. 	<ul style="list-style-type: none"> Qualidade microbiológica Apropriados determinantes se há suspeita de contaminação química 	<ul style="list-style-type: none"> Falha em atender ao Padrão de Potabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> Re-amostragem Adotar etapas para evitar a contaminação recorrente Realizar novo treinamento da equipe de coleta de amostras

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.66 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede distribuição de água relacionada a operação.

Evento: Contaminação da rede de distribuição de água devido a problemas com a operação do sistema				
Possíveis Perigos: Microorganismos e determinadas substâncias químicas (dependendo da natureza do material)				
Nível de Risco: Alto				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	Ações corretivas
Localização insatisfatória da rede de distribuição de água	<ul style="list-style-type: none"> Garantir que as tubulações de água estejam distantes mais de 3 metros das redes coletoras de esgotos – quando em paralelo. Distância menor é aceitável para tubos de águas pluviais, ou quando a água está pelo menos 0,5 m acima das redes coletoras de esgotos e a rede coletora tenha sido construída atendendo a padrões de água potável (materiais e juntas). Garantir que a rede de água esteja a pelo menos 0,5 m acima das redes coletoras quando existir um cruzamento, ou se estiver próxima, que a rede coletora tenha sido construída atendendo a padrões de água potável. Juntas nas tubulações de água devem ser equidistantes do ponto de cruzamento. Se as tubulações de água passarem sob a rede de esgoto 0,5 m de separação vertical mínima de separação é necessária e a rede coletora deveria ser bem apoiada para evitar a flexão das juntas. Evitar implantar rede em áreas alagadiças ou áreas conhecidas por possuir fontes de contaminação potencial – por exemplo, lixões e aterros sanitários. Evitar implantar redes sob terreno fisicamente instável para reduzir flexões nas tubulações. Garantir que as tubulações estão profundas o suficiente para evitar o congelamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Qualidade microbiológica Determinantes químicos (dependendo da fonte de contaminação potencial). 	<ul style="list-style-type: none"> Falhas em atender a legislação sanitária 	

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.67 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede de distribuição de água relacionada a operação.

Evento: Contaminação da rede de distribuição de água devido a problemas com a operação do sistema				
Possíveis Perigos: Microrganismos e determinadas substâncias químicas (dependendo da natureza do material)				
Nível de Risco: Alto				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		Ações corretivas
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	
Conexões cruzadas	<ul style="list-style-type: none"> Inspeção do sistema para conexões cruzadas Garantir que somente pessoas qualificadas sejam autorizadas a executar ligações domiciliares pelo operador do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> Registro de Inspeções 	<ul style="list-style-type: none"> Conexões cruzadas encontradas durante as inspeções Relatos de contaminação visual grosseira nas torneiras dos consumidores Flutuações inexplicadas na qualidade da água microbiológica e química. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar a qualificação da equipe que executa as ligações domiciliares.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.68 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede de distribuição de água relacionada a biofilmes.

Evento: Ressuspensão dos sedimentos ou desprendimento de biofilme devido a flutuações de pressão.				
Possíveis Perigos: Microorganismos, turbidez e determinadas substâncias químicas				
Nível de Risco: Baixo-moderado				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	Ações corretivas
Desenvolvimento de sedimentos ou biofilmes	<ul style="list-style-type: none"> Ver Quadro 73 	<ul style="list-style-type: none"> Ver Quadro 73 	<ul style="list-style-type: none"> Ver Quadro 73 	<ul style="list-style-type: none"> Limpeza e descargas no sistema de distribuição de água. Restaurar a qualidade da água a um nível aceitável.
Velocidade muito alta da água	<ul style="list-style-type: none"> Controlar a abertura ou fechamento de válvulas e a partida de bombas. Dimensionar o diâmetro das tubulações para acomodar a demanda da água sem altas velocidades que ressuspensem os sedimentos – em algumas situações ele não pode ser possível acomodar vazões de incêndio. 	<ul style="list-style-type: none"> Cloro livre disponível Qualidade microbiológica Turbidez 	<ul style="list-style-type: none"> Reclamações dos usuários Falha em atender aos requerimentos descritos na legislação sanitária. 	<ul style="list-style-type: none"> Recuperar a qualidade da água a um nível aceitável. Rever protocolo de descarga de rede.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.69 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede de distribuição de água relacionada a biofilmes.

Evento: Desenvolvimento de sedimento ou biofilmes				
Possíveis Perigos: Microrganismos, turbidez e determinadas substâncias químicas				
Nível de Risco: Moderado				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		Ações corretivas
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	
Pobre qualidade química da água deixando a unidade de tratamento – por exemplo, pós-tratamento através da precipitação de flocos ou precipitação de ferro/mangânês	<ul style="list-style-type: none"> Garantir tratamento em condições de remover os constituintes da água bruta que poderiam se depositar no sistema de distribuição Assegurar que o tratamento esteja operando efetivamente para que nenhum constituinte adicionado pudesse depositar-se no sistema de distribuição. Garantir um programa regular de limpeza e descarga da rede, especialmente nos trechos de baixa velocidade e zonas mortas. 	<ul style="list-style-type: none"> Turbidez Alumínio Ferro e Mangânês Inspecção 	<ul style="list-style-type: none"> Reclamações dos consumidores 	<ul style="list-style-type: none"> Melhorar o desempenho da unidade de tratamento. Limpeza e descarga no sistema de distribuição.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.70 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede distribuição de água relacionada a biofilmes.

Evento: Desenvolvimento de Sedimentos ou Biofilme.				
Possíveis Perigos: Microorganismos, turbidez e determinadas substâncias químicas				
Nível de Risco: Moderado				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		Ações corretivas
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	
Pobre qualidade microbiológica da água deixando a unidade de tratamento e no sistema de distribuição	<ul style="list-style-type: none">Assegurar cloro disponível livre de forma contínua em todo o sistema de distribuição de água.Garantir um regular programa de limpeza e descarga de rede especialmente em trechos de baixa velocidade e zonas mortas.	<ul style="list-style-type: none">Cloro disponível livreQualidade microbiológicaTurbidez	<ul style="list-style-type: none">Falha em atender a legislação sanitária especialmente a não manutenção de cloro disponível livre.	
Velocidade da água muito baixa resultando no decaimento de cloro e colonização microbiológica das superfícies internas das tubulações	<ul style="list-style-type: none">Revisar a setorização da rede, e colocar em prática um plano para aumentar a velocidade através dessas áreas.Projetar a rede de distribuição na forma de anéis ou circuitos ao invés de rede ramificada para permitir maior flexibilidade do fluxo de água, mesmo em áreas com reduzida vazão.	<ul style="list-style-type: none">VazãoPressão		<ul style="list-style-type: none">Modelagem da rede de distribuição de água em função das demandas de água e residuais de cloro livre para identificar as mudanças necessárias.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.71 - Medidas preventivas e corretivas a serem tomadas em rede distribuição de água relacionada a biofilmes.

Evento: Desenvolvimento de sedimentos ou biofilmes.				
Possíveis Perigos: Microorganismos, turbidez e determinadas substâncias químicas				
Nível de Risco: Moderado				
Causas	Medidas Preventivas	Verificação das medidas preventivas		Ações corretivas
		O que verificar	Sinais de que ações são necessárias	
Reparos pobres na rede permitindo a colonização das superfícies internas	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar materiais que não promovem o desenvolvimento de biofilmes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade microbiológica • Turbidez 	<ul style="list-style-type: none"> • Falha no atendimento à legislação sanitária 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar práticas de manutenção. • Substituir materiais de construção e de reparo.
Programa inadequado de limpeza das tubulações	<ul style="list-style-type: none"> • Garantir um programa regular de limpeza, especialmente em trechos com baixa velocidade e zonas mortas, e observar as demais medidas preventivas listadas nos Quadros 73 e 74. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cloro disponível livre • <i>E. coli</i> ou coliformes • Turbidez • Alumínio • Ferro e manganês 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção de livro de registro dos trabalhos de limpeza executados • Reclamações dos consumidores • Falha em atender a legislação sanitária vigente 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar programa de limpeza das tubulações da rede.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Uma importante exigência, que todo monitoramento operacional deve atender, é a capacidade de avaliar o desempenho do sistema de maneira rotineira e indicar se uma medida de controle funciona adequadamente. Os parâmetros microbiológicos – por exemplo, indicadores bacterianos – são de limitado uso para este propósito, porque o tempo demandado para processar e analisar as amostras de água é muito grande. O monitoramento operacional para indicadores como a pressão e os níveis de água nos reservatórios podem ser obtidos em tempo real, porém, estes parâmetros nem sempre são essenciais.

Se o monitoramento indicar que um limite crítico ou operacional foi excedido, e existe a possibilidade de a água estar, ou tornar-se insegura. O monitoramento deve ser feito segundo um plano de amostragem estatisticamente válido, definido de maneira estratégica, para prevenir o abastecimento de água potencialmente insegura. Deveria ser permanentemente mantido um banco de dados relativos ao monitoramento – por exemplo, se a desinfecção por cloro é usada como medida de controle para o sistema de distribuição, os parâmetros monitorados deveriam ser os residuais de cloro, estabelecidos para um dado sistema e seus limites operacionais, geralmente em mg/L.

4.21.9.2 Monitoramento para verificação

A verificação é o teste final para a segurança da água – ela fornece a confirmação objetiva da segurança total do sistema e envolve o monitoramento de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos no sistema de distribuição. A verificação também engloba auditoria e revisão do PSA, incluindo verificação de conformidade para procedimentos operacionais.

O monitoramento de verificação envolve métodos, procedimentos ou testes adicionais – independente daqueles métodos usados no monitoramento operacional – para determinar se o PSA:

- Está em conformidade com os objetivos formalizados para atendimento das metas de qualidade da água;
- Necessita modificações e revalidação;
- Está controlando os perigos identificados.

O monitoramento de verificação pode ser menos freqüente do que o monitoramento operacional. Por exemplo, o monitoramento operacional, sempre que

possível, deve ser contínuo – enquanto o monitoramento de verificação das unidades do sistema de distribuição pode ser feito quinzenalmente.

Os indicadores bacterianos tais como *E. coli*, freqüentemente são usados para a verificação final da qualidade microbiológica. Embora o monitoramento microbiológico possa ser usado como teste do produto final, ele não deveria ser usado no controle operacional, porque o tempo necessário para as amostras serem processadas e analisadas geralmente é longo e, nesta situação, a água já teria sido tratada, distribuída e, provavelmente, consumida.

A auditoria de conformidade com o PSA é outra forma de verificação. O objetivo é avaliar se, na prática, o plano está sendo acompanhado. A auditoria pode envolver auditores internos e externos, além de poder incluir uma revisão de atividades importantes relacionadas à segurança da água, tais como: conformidade com procedimentos operacionais, adoção de planos de treinamento e calibração periódica de equipamentos. Um exemplo de um plano de verificação é dado no Quadro 4.72.

Quadro 4.72 - Exemplo de verificação para calibração de equipamentos.

Atividade	Descrição	Freqüência	Pessoal responsável	Dados
Calibração de equipamentos	Análise e teste de equipamentos para serem mantidos e calibrados conforme um roteiro de manutenção	Conforme o roteiro de manutenção	Técnicos de laboratório e de operação	Dados de calibração laboratoriais

Fonte: adaptado de Stevens et al. (2004).

4.21.9.3 Monitoramento para validação

O processo de validação tem o propósito de obter evidências que os elementos do PSA sejam. Um exemplo de validação é a obtenção de evidências que determinada medida de controle opera dentro de seus limites operacionais e, desta forma, tem capacidade para controlar perigos relevantes. A validação pode ser baseada em uma variedade de fontes, incluindo a literatura científica, associações, legislação, dados históricos etc.

A validação específica do sistema é essencial, pois variações na água ou no projeto do sistema podem ter grande impacto na eficácia de certas medidas de controle.

Uma medida de controle utilizada em um sistema pode ser menos eficaz em outro tipo de sistema de distribuição. Exemplos de processos de validação são:

- Modelagem do fluxo de água em reservatórios para validar o grau de mistura
- Medição de fatores que influenciam na eficácia da desinfecção em reservatórios ou tanques de contato
- Medidas de parâmetros microbiológicos, tais como bactérias heterotróficas e coliformes – nesta situação, a demora na obtenção dos resultados destes exames pode ser tolerada porque este tipo de monitoramento não é usado na gestão de rotina da segurança da água.

O PSA deveria ser revisado periodicamente para incorporar novas informações e torná-las disponíveis e, desta forma, garantir que o plano ainda seja capaz de controlar os perigos identificados.

4.21.10 Programas de apoio e procedimentos de gestão

A distribuição de água segura baseada em um PSA envolve a gestão de pessoas e processos. Portanto, adequados programas de apoio, tais como treinamento, adoção de boas práticas higiênicas e garantia da qualidade da água distribuída são importantes componentes do plano. Os programas de apoio são atividades essenciais para a operação efetiva das medidas de controle que, indiretamente, auxiliam a segurança da água. As ações necessárias para operar os sistemas de acordo com o PSA devem ser obtidas na forma de procedimentos de gestão, tal como os “Procedimentos Operacionais Padrão” que descrevem pormenorizadamente todas as atividades de rotina, em uma dada sequência, que devem ser realizada para que os processos atendam os limites operacionais estabelecidos (STEVENSON et al., 2004; PEREIRA e BAGGIO, 1997).

Entretanto, a despeito das ações preventivas e corretivas, caso ocorra um incidente é necessário haver um plano de resposta específico conhecido como Plano de Contingência. Os incidentes podem ser minorados com a adoção de medidas corretivas, porém, apenas uma investigação adicional pode indicar concretamente se existe uma situação de emergência. As emergências exigem recursos materiais e humanos dos serviços de abastecimento de água; são necessários não só o operador do sistema de abastecimento de água, como também, as autoridades de saúde pública.

Os Planos de resposta a incidentes geralmente compreendem:

- Definição de responsabilidades e comunicação direta com as pessoas-chave, frequentemente incluindo várias organizações e indivíduos;
- Listagem de indicadores mensuráveis, condições ou valores limites que provocaram o incidente, acompanhado de escala de níveis de alerta;
- Descrição clara de ações necessárias para responder ao alerta;
- Localização e identificação dos Procedimentos Operacionais Padronizados (POPs) e dos equipamentos necessários;
- Locação de equipamentos reserva;
- Logística apropriada e disponibilidade de informação técnica; e
- Listas de verificações e manuais de referência.

O plano pode, ainda, ser acompanhado de boletins curtos e eficazes, sistema de comunicação; treinamentos de atualização e documentação. Os funcionários devem ser treinados para atuar em incidentes ou emergências utilizando respostas efetivas e seguras. Os planos de resposta a incidentes ou emergências devem ser revisados e praticados periodicamente. Os Quadros 4.73, 4.74 e 4.75 mostram exemplos de planos de contingência aplicados à rede de distribuição de água.

A análise do incidente ou emergência pode indicar a necessidade de revisão dos planos existentes. Também deve fazer parte do plano de resposta: o preparo de procedimentos claros, a definição de responsabilidades, a provisão de equipamentos para fornecimento de água a locais estratégicos como escolas, hospitais e asilos e a coleta de amostras de água antes e durante o incidente. O Plano de Resposta também pode ser avaliado através da vigilância epidemiológica das doenças de veiculação hídrica ou de outras investigações.

4.21.11 Documentação

Os dados são essenciais para revisar a adequabilidade e a implementação do PSA. Quatro tipos de dados devem ser mantidos pelo operador:

- Documentação de apoio para desenvolvimento do PSA.
- Dados gerados pelo sistema com o PSA.
- Documentação dos métodos e procedimentos usados.
- Dados dos programas de treinamento dos empregados.

Dados usados no PSA são necessários para auxiliar as atividades da auditoria de verificação. Analisar os dados permite ao operador ou gestor tomar consciência que o processo está próximo de seus limites operacionais; revisar os dados pode ajudar a identificar as tendências, assim como, identificar os ajustes operacionais que precisam ser feitos. A longo prazo, a revisão periódica dos dados permite que tendências sejam observadas, assim como possam ser determinadas e implementadas ações apropriadas para garantir o melhoramento contínuo do sistema.

A documentação é parte essencial para continuidade do PSA; ela é, também, poderoso meio para demonstrar que todos os necessários cuidados e precauções tenham sido tomadas pelo serviço, pois as informações estão prontamente disponíveis, são facilmente rastreáveis e transparentes. Os Quadros 4.75 e 4.76, adaptados de New Zealand (2001a, 2001b e 2001c), apresentam detalhadas informações para verificar se o sistema de distribuição de água opera adequadamente.

Quadro 4.73 - Exemplo de Plano de Contingência

Evento: Contaminação do sistema de distribuição de água	
Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Incapacidade para manter residuais de cloro quando normalmente são mantidos. • Em amostras de 100 mL de água de reservatórios, <i>E. coli</i> é continuamente detectada ou está presente em níveis elevados (mais de 10 por 100 mL). • Reclamações em toda a parte de gosto e odor pelos consumidores. • Níveis de doenças em toda a parte da comunidade. • Flutuações na turbidez em níveis maiores do que na água que deixa a unidade de tratamento.
Ações Necessárias	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar as razões para as falhas e corrigi-las • Registrar as causas de falha no sistema e passos tomados para corrigi-las. • Modificar o Plano de Segurança da Água se necessário
Responsabilidade:	Gerente designado como responsável pelo sistema de abastecimento de água.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

4.21.12 Resumo do conteúdo de um PSA

O Quadro 4.78 resume o conteúdo desejável de um PSA, com os elementos categorizados como “precisa conter”, “deveria conter” ou “pode conter”.

Quadro 4.74 - Exemplo de Plano de Contingência

Evento: Pressão de água muito baixa	
Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de água não explicada ou danos observados. • Dificuldade em manter os níveis de água nos reservatórios. • Unidade de tratamento operando no ou próximo da capacidade máxima. • Observado problemas com ventosas. • Ruptura em tubulações da rede primária. • Flutuação de pressão ou significativa diminuição da pressão. • Elevada turbidez, contagem microbiológica ou de concentração de produtos químicos. • Incidentes de doenças suspeitas estarem relacionadas aos eventos associados com as tubulações primárias • Aumento da demanda de cloro.
Ações Necessárias	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar amostras microbiológicas para verificar a conformidade com os Padrões de Potabilidade. Se os resultados indicarem uma transgressão seguir os requerimentos previstos na legislação. • Se há suspeita de contaminação química, monitorar as concentrações das prováveis substâncias químicas e seguir os requerimentos previstos na legislação. • Determinar as razões para as perdas de água e rupturas nas tubulações, reparar e planejar medidas a longo prazo. • Revisar os dados das descargas da rede e reparos nas tubulações na área para confirmar se todos os trechos da rede a água contaminada tenha sido eliminada através das descargas da rede. • Monitorar os residuais de cloro e aumentar o residual para certificar-se que há uma concentração maior que 0,2 mg/L de cloro residual livre em todas as partes do sistema de distribuição. • Confirmar que todos os procedimentos de reparo das tubulações executados pelas equipes de manutenção hajam sido seguidos. • Revisar os resultados dos exames e análise laboratoriais e se necessário tomar novas amostras. • Descrever em relatório as causas de falha no sistema e passos tomados para corrigi-las. • Modificar o Plano de Segurança da Água se necessário
Responsabilidade:	Gerente designado como responsável pelo sistema de abastecimento de água.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001a).

Quadro 4.75 - Exemplo de Plano de Contingência

Evento: Ocorrência de retrossifonagem no sistema de distribuição de água	
Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Reclamações de água que chega às torneiras com cor, gosto e cheiro. • Incidente com retrossifonagem relatado por indústria. • Relato de doenças em partes da comunidade. • Incapacidade para manter residuais do desinfetante em partes do sistema de distribuição • <i>E. coli</i> encontrado no sistema de distribuição.
Ações Necessárias	<ul style="list-style-type: none"> • Notificar as autoridades sanitárias e alertar os consumidores na área afetada para não consumir água até mais informações. Se necessário, fornecer outra fonte de água até que água de qualidade aceitável possa de novo ser distribuída à população. • Identificar as fontes da retrossifonagem e isolar até que um dispositivo contra a retrossifonagem possa ser instalado, ou um dispositivo já instalado possa entrar em operação. • Dar descargas na rede, na parte afetada do sistema de distribuição, considerando a necessidade de elevadas concentrações de cloro, se o incidente tenha envolvido contaminantes microbiológicos – consultar os órgãos ambientais e sanitários sobre a melhor forma de dispor a água das descargas da rede. • Monitorar um determinante apropriado na área afetada para verificar se as medidas de contingência adotadas tiveram sucesso, e notificar os consumidores, quando a água no sistema de distribuição está segura para uso, informar que eles precisam deixar as torneiras abertas até que água de boa qualidade possa ser usada novamente. • Registrar as causas de falha no sistema e passos tomados para corrigi-las. • Modificar o Plano de Segurança da Água, se necessário
Responsabilidade:	Gerente designado como responsável pelo sistema de abastecimento de água.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001c).

Quadro 4.76 - Avaliação do desempenho de um PSA – Pressões no sistema

O que medir ou observar	<ul style="list-style-type: none"> • Amostragem bacteriológica de reparos de tubulações rompidas e projeto de substituição de tubulações. • Cadastrar para manter informações sobre os procedimentos usados, observações feitas e problemas encontrados. • Práticas de desinfecção e higiene • Contínuo residual de cloro. • Minimizar as reclamações sobre água com cor, gosto e odor. • <i>E. coli</i> ou contagem de bactérias heterotróficas • Turbidez
Com que frequência	<ul style="list-style-type: none"> • O Padrão de Potabilidade da Nova Zelândia requer que amostras serem realizadas 12 horas da completa construção, reparo, ou restauração do fluxo de água. Amostragem bacteriológica por três dias consecutivos após os trabalhos estarem completados deveriam ser realizadas e <i>E. coli</i> não deveria ser detectada em nenhuma dessas amostras. Se <i>E. coli</i> é detectada, avisar a autoridade sanitária e instituir os procedimentos corretivos normais. • Procedimentos, detalhes e efeitos deveriam ser descritos e anotados para todos os eventos. • Turbidez, cloro residual livre e pH deveriam ser medidos após cada evento.
O que fazer com os resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Os resultados necessitam ser armazenados para atender a legislação vigente ou para permitir a avaliação do desempenho do PSA. • Os dados coletados necessitam ser periodicamente analisados se verificar com que frequência estes problemas estão ocorrendo. Isto deveria ser feito tão freqüentemente quanto o gerente responsável considerar necessário para minimizar os riscos à saúde pública alcançando por este elemento do sistema. • Deveria ser revisto os relatos de incidentes não usuais, indica que os procedimentos próprios não estão sendo executados, destacam os resultados laboratoriais ruins ou indica que a qualidade da água não é boa alcançando o consumidor, então revisar os procedimentos para gestão das operações do sistema de distribuição • Avaliar os resultados do monitoramento, e algumas ações tomadas com o resultado de implementar um plano de contingência, para ver se o PSA necessita modificações, por exemplo, se medidas preventivas estão atualizadas; se as etapas do plano de contingência estão ainda adequadas; e se mudanças na operação do sistema de distribuição são reconhecidas no plano.
Responsabilidade	Gerente designado como responsável pelo sistema de abastecimento de água.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001a).

Quadro 4.77 - Avaliação do desempenho de um PSA – Operação do Sistema

O que medir ou observar	<ul style="list-style-type: none"> • Amostragem bacteriológica de reparos de tubulações rompidas e projeto de substituição de tubulações. • Cadastrar para manter informações sobre os procedimentos usados, observações feitas e problemas encontrados. • Contínuo residual de cloro. • Minimizar as reclamações sobre água com cor, gosto e odor. • <i>E. coli</i> • Revisar o livro no qual estão listados os incidentes
Com que frequência	<ul style="list-style-type: none"> • O Padrão de Potabilidade da Nova Zelândia requer amostras serem feitas 12 horas da completa construção ou reparo, ou restauração do fluxo de água. Amostragem bacteriológica por três dias consecutivos após os trabalhos estarem completados deveriam ser feitos. <i>E. coli</i> não deveria ser detectada em qualquer dessas amostras. Se <i>E. coli</i> for detectada, avisar a autoridade sanitária e instituir os procedimentos corretivos normais. • Os residuais de cloro deveriam ser medidos após cada evento.

Fonte: adaptado de New Zealand (2001b).

Quadro 4.78 - Resumo dos requerimentos de um PSA

<p>Precisa conter:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fluxograma e mapas, incluindo a identificação das medidas de controle – Identificação dos perigos – Documentação do PSA – Identificação da equipe que elaborou o PSA – Descrição do abastecimento de água, uso e vulnerabilidade – Documentação do plano de contingência
<p>Deveria Conter:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Documentação de concordância do operador do serviço – Especificações detalhadas dos materiais e produtos químicos usados no abastecimento de água – Descrição das tarefas e dos responsáveis pela rotina de operação do sistema – Plano de ações corretivas para desvios – Procedimentos para a manutenção de dados – Dados de validação do sistema – Procedimentos para verificação e revisão – Documentação de incidentes durante procedimentos
<p>Pode conter:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Manuais relevantes tais como de higiene, manutenção preventiva, e equipamentos de medição e calibração – Descrição das tarefas e responsáveis por todas as equipes do serviço – Dados sobre os programas de treinamento de toda a equipe do serviço – Ações corretivas e conclusões das auditorias anteriores – incluem verificação de procedimentos – Política e procedimentos de atendimento as reclamações dos usuários.

Fonte: adaptado de New Zealand (2005a).

5. METODOLOGIA

5.1 INTRODUÇÃO

O universo da presente pesquisa aplicada⁽¹⁾ e quantitativa⁽²⁾ são os sistemas de abastecimento de água, particularmente as redes de distribuição e sua relação com contaminação microbiológica da água e saúde pública.

Para atender os objetivos propostos foi adotado método analítico, descritivo e exploratório, porque a proposta foi apresentar como os conceitos de avaliação e gestão de riscos microbiológicos podiam ser aplicados a sistemas de abastecimento.

O estudo foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica - tipo de pesquisa de caráter exploratório, realizada com a intenção de serem obtidos conhecimentos a partir de informações já publicadas – a qual, dado o caráter da tese, foi essencial para a delimitação do problema e desenvolvimento da fundamentação teórica.

Esta pesquisa consistiu no exame de produções registradas em livros, artigos e outros documentos, para levantamento e análise do que já foi publicado sobre o assunto tratado. O acesso à literatura aconteceu por meio de leitura direta das referidas obras impressas e de consulta através da internet em bancos de dados nacionais e internacionais, como <http://bases.bireme.br> e <http://www.lex.com.br>.

A pesquisa bibliográfica compreendeu o período 2000 a 2009, para analisar a produção científica referente aos Planos de Segurança da Água e, particularmente, aqueles relacionados à avaliação de risco em redes de distribuição de água – cerne deste estudo - tema recente e cujo arcabouço teórico foi construído com base em experiências práticas desenvolvidas a partir do final dos anos 90.

(1) Pesquisa Aplicada porque objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos - envolve verdades e interesses locais (BARROS e SOUZA LEHFELD, 1990).

(2) Pesquisa Quantitativa por considerar que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações, para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas, percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação ou análise de regressão entre outras (BARROS e SOUZA LEHFELD, 1990).

Entretanto, para os demais temas o período da pesquisa bibliográfica foi mais abrangente, principalmente quando se tratava de apresentar apenas um panorama das questões que envolvem riscos, saúde pública e sistemas de abastecimento de água.

A partir das informações obtidas no levantamento e análise bibliográfica foi proposto método analítico para a avaliação de risco em redes de distribuição de água desenvolvido a partir dos estudos de Godfrey et al. (2002) e Tibatemwa et al. (2003).

O método proposto foi aplicado na rede de distribuição do sistema de abastecimento de água da sede do município de Itatinga-SP, utilizado como objeto de estudo e universo para coleta de dados. A coleta dos dados se restringiu a 2008 - a grande maioria dos dados foi obtida diretamente na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP através da Unidade de Negócio do Médio Tietê.

5.2 DESCRIÇÃO DA COMUNIDADE DE ITATINGA

O povoado de São João Batista de Itatinga nasceu em 1884, quando José Pinto de Oliveira, Antônio Francisco da Silva, Cel. Eduardo Lopes de Oliveira, Major João Pinto de Novais Belo e outros habitantes da região, pertencentes ao Município de Avaré, erigiram, mediante subscrição popular, uma capela sob a invocação de São João Batista, em torno da qual o povoado se formou (SEADE, 2008a; IBGE, 2008).

As terras onde o patrimônio se localizou foram doadas de parte da fazenda São João. Em 1891 foi criado o Distrito da Paz, passando a Município já em 1896 e instalada a primeira Câmara em maio de 1898.

Para atrair interessados na construção de um ramal ferroviário ligando o Distrito à Estrada de Ferro Sorocaba, a Câmara Municipal conferiu vantagens. Em julho de 1914, foi completada a ligação férrea, que em agosto de 1953 passou a constituir linha tronco e eletrificada.

A alteração do nome do Município ocorreu em 30 de novembro de 1938, pelo Decreto n.º 9775, passando São João de Itatinga a denominar-se simplesmente Itatinga (do tupi " itá-tinga", pedra branca), pela localização nas proximidades, de uma enorme pedra branca.

Em 1954, coroando o sonho do Abade Dom Afonso Heum, foi inaugurada a Abadia de Nossa Senhora da Assumpção, um monastério sobre a proteção de São Bernardo.

Em divisão territorial datada de 1º de julho de 1960, o município é constituído de 2 Distritos: Itatinga e Lobo, assim permanecendo até a presente data.

Itatinga é um município brasileiro do estado de São Paulo, localizado na latitude 23°06'06" sul, longitude 48°36'57" oeste e a uma altitude média de 845 metros. A localização geográfica de Itatinga situa-se à margem da rodovia Marechal Castelo Branco (SP- 280) e dista 211 quilômetros da capital paulista. A cidade conta ainda com ligação ferroviária direta com São Paulo, pela América Latina Logística S.A. – ALL

Segundo o IPT (1981), o município de Itatinga está localizado na província geomorfológica denominada Depressão Periférica. Esta província é subdividida em três zonas: Zona do Mogi-Guaçu, do Médio Tietê e do Paranapanema, em referência às principais microbacias existentes na área – Itatinga está inserida nesta última zona. Na região predominam arenitos do grupo Pirambóia e próxima à sede solos do tipo Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho Escuro, Areias Quartzosas e Hidromórficos. O clima é Cwa pelo sistema de Köppen, descrito como clima úmido, quente, com inverno seco. O mês de menor precipitação é julho (20-30mm) e o mês mais chuvoso janeiro (200-225mm) - umidade relativa do ar é de 72 Hr%. A temperatura varia entre a máxima de 38° C e a mínima de 6°C, com temperatura média anual de 18°C, com mínima de 10°C em julho e máxima de 28°C em janeiro.

A sede municipal se desenvolve por uma área com topografia relativamente ondulada, com altitude média de 846,2 m.

O município de Itatinga apresenta uma área de 979,87 km², se localiza na região centro-sul do Estado e pertence a Região de Governo de Botucatu e 4ª Região Administrativa com sede em Sorocaba. Faz limite ao norte com Botucatu, leste com Pardinho e Bofete, a oeste com Avaré e ao sul com Angatuba e Paranapanema.

A hidrografia local tem como principais corpos d'água: Rio Novo, Rio Pardo, Rio Santo Inácio, Rio Paranapanema e diversos ribeirões – todos eles pertencentes a bacia hidrográfica do rio Paranapanema. Especificamente na área urbana, existem os Córregos Paulino e do Toledo, tributários do Rio Novo pela margem esquerda, cujas bacias cobrem toda a área urbana de Itatinga.

Sua população concentra-se na sede municipal, com 15.047 habitantes, restando cerca de 1.474 habitantes distribuídos pelo distrito de Lobo e zona rural, conforme dados extraídos de SEADE (2004).

5.3 MÉTODO PROPOSTO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.

A avaliação de risco aqui apresentada diz respeito à etapa inicial da elaboração de um PSA que é constituído pelas fases de descrição do sistema de abastecimento de água e avaliação dos perigos conforme ilustrado na Figura 5.1. A identificação de medidas de controle não foi considerada em detalhes contudo elas são discutidas durante a apresentação dos resultados.

Existem ainda poucos estudos sobre a avaliação de riscos de redes de distribuição de água e este estudo teve por base a metodologia descrita em Godfrey et al. (2002) e Tibatemwa et al. (2003), desenvolvida a partir da constatação da existência de sérias restrições quanto às informações disponíveis sobre os sistemas de abastecimento de água por eles avaliados.

Figura 5.1 - Etapas da Avaliação de Perigos microbiológicos usados neste estudo.

No presente estudo, há quantidade maior de informações disponíveis sobre o sistema de abastecimento de água que estão relacionadas abaixo:

- A existência de um cadastro da rede de distribuição de água que permitiu obter informações sobre localização, diâmetro, material, extensão e profundidade das redes instaladas, embora ainda não se encontrasse georreferenciado (SIG);
- A existência de um cadastro da rede coletora de esgoto que permitiu obter informações sobre a localização, diâmetro, extensão e profundidade das rede;

- O monitoramento contínuo da qualidade da água segundo os critérios estabelecidos pela Legislação Sanitária ditados tanto pelo serviço de abastecimento de água como também pelo órgão responsável pela vigilância da qualidade da água.
- A prática de descrever em relatório os serviços de operação e manutenção realizados no sistema, através das fichas de solicitação de serviço;
- A existência de estudos e projetos relativos ao sistema de abastecimento de água;
- A disponibilidade de estudo socioeconômico da população do município.

Estas informações permitiram a utilização de novas variáveis o que tornou a avaliação de risco menos subjetiva ou suscetível à opinião de especialistas. A Figura 5.2 mostra esquema das etapas da metodologia usada neste estudo e que será detalhada nos itens subseqüentes.

Em face da disponibilidade de informações também foi possível usar o programa de computador EPANET (LNEC, 2002 e LNEC, 2004) para simular as condições hidráulicas da rede de distribuição de água em condições de regime permanente. O uso deste programa computacional permitiu agregar variáveis como as pressões dinâmica e estática que foram úteis na avaliação da vulnerabilidade hidráulica da rede.

Estas informações foram agrupadas em uma matriz de risco, semelhante à proposta por Godfrey et al. (2002) e Tibatemwa et al. (2003), baseadas nos fatores de risco: fontes e ambientes perigosos, vulnerabilidade da rede e suscetibilidade da população atendida e das variáveis e sub-variáveis indicadas na Figura 5.3.

Foi usado o método de avaliação multi-critério: “Método de Análise Hierárquica”, mais conhecido como Método AHP (abreviação do inglês *Analytic Hierarchy Process*) para a ponderação dos riscos e, desta forma foi possível elaborar uma matriz de risco levando em consideração todos os fatores de risco, variáveis e sub-variáveis.

Com os resultados da Matriz de Risco foi possível elaborar o Mapa de Risco da rede de distribuição de água do sistema estudado.

As situações de risco caracterizadas na Matriz e no Mapa de Risco forneceram subsídios para a priorização dos riscos e a proposição de medidas corretivas.

Figura 5.2 - Etapas do Método de Avaliação de Risco proposto nesta pesquisa.

Figura 5.3 - Estrutura dos indicadores usados para a avaliação de risco da rede de distribuição de água de Itatinga.

Uma vez que o método proposto em Godfrey et al. (2002) e Tibatemwa et al. (2003), sofreu modificações, à medida que esta nova proposta metodológica é apresentada, são feitas as devidas distinções entre as duas abordagens.

5.3.1. Descrição geral do sistema de abastecimento de água

Inicialmente foi descrito todo o sistema de abastecimento de água, porém não foi realizada uma análise preliminar das unidades manancial, captação, adução, tratamento e reservação, porque o objeto escolhido para estudo foi somente a rede de distribuição de água. Para avaliação da vulnerabilidade da qualidade da água foi necessário a certificação de que a estação de tratamento produziu água em conformidade com os padrões de potabilidade durante o período de análise. Neste estudo foi apresentada uma caracterização geral do sistema de abastecimento de água. Contudo, na elaboração de Planos de Segurança da Água é imprescindível a realização de análise detalhada de todo o sistema de abastecimento de água. A partir da caracterização geral foi elaborado um fluxograma do sistema de abastecimento de água de Itatinga.

Todas as principais unidades do sistema de abastecimento de água foram visitadas com o propósito de ser validado o fluxograma elaborado.

5.3.1.1 Descrição e análise do sistema de distribuição de água

Foi realizada análise detalhada da rede de distribuição de água para se obter um amplo entendimento das características físicas (materiais usados, idade, tipo de tubulações etc.), hidráulicas (vazões, pressões, forma de operação etc.) e sanitárias (localização da rede em relação a fontes de contaminação, qualidade da água, população atendida, vulnerabilidade do sistema etc.) da unidade estudada.

Face às características geográficas da cidade de Itatinga - município de pequeno porte - a descrição do sistema de distribuição de água inicialmente procurou delimitar os setores de abastecimento de água do sistema, porque eles foram considerados unidade básica para a avaliação da rede de distribuição de água.

5.3.1.2 Identificação dos usos dados à água

Foram identificados os prováveis usos dado a fim de:

- Caracterizar os usuários e a finalidade dada à água;
- Conhecer o nível de serviço ofertado pelo sistema de abastecimento de água;

- Identificar o nível socioeconômico da comunidade atendida.
- Verificar a ocorrência de doenças relacionadas a água de interesse para este estudo.

A caracterização socioeconômica dos usuários teve por base os dados obtidos do Censo Demográfico realizado pelo IBGE (IBGE, 2000) e do sistema de indicadores que compõe o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS desenvolvido pela Fundação SEADE (SEADE, 2008a).

Como foi utilizado o IPVS não foi preciso identificar e caracterizar os assentamentos humanos de baixa renda como favelas, invasões etc., pois este índice fornece as características sócio-econômicas da área de estudo. A partir desta caracterização foi possível elaborar um mapa no qual estas características foram relacionadas aos setores de abastecimento.

Foram utilizados os dados da gestora do sistema, SABESP para, além dos consumidores residenciais, conhecer outros usuários de interesse sanitário tais como:

- Hospitais, casas de repouso, asilos, creches;
- Grandes consumidores de água;
- Indústrias alimentícias etc.

As informações sobre o relacionamento que o operador mantém com o usuário permitiram verificar as principais reclamações existentes e os locais em que elas ocorreram. Estas informações foram úteis na avaliação da vulnerabilidade hidráulica e da qualidade da água.

5.3.1.3 Análise do desempenho da rede de distribuição de água

A análise do desempenho do sistema foi realizada para cada setor de abastecimento da rede de distribuição sobre três aspectos:

- **Aspecto operacional:** áreas nas quais freqüentemente ocorrem vazamentos e ruptura das tubulações e também áreas sujeitas à intermitência no abastecimento de água. Também foram investigados: a existência de ligações clandestinas, programa de controle de perdas e a existência de um programa contínuo de descargas na rede. Estas informações foram obtidas na área operacional da SABESP através de entrevista aos profissionais da área

operacional e consulta à documentação sobre o histórico de manutenção e reparos na rede.

- **Aspecto sanitário:** foram investigadas áreas nas quais o residual de cloro livre era inferior aos limites prescritos na legislação sanitária, áreas onde a turbidez era frequentemente elevada e áreas em que foram detectados casos de contaminação microbiológica. Estas informações foram obtidas em três fontes distintas, na SABESP através de pesquisa aos dados de monitoramento e controle da qualidade da água para consumo humano; no sistema de manutenção que gera solicitações de serviços (SSs); e na Secretaria Municipal de Saúde de Itatinga – responsável pela Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano.
- **Aspecto Hidráulico:** Com as informações contidas no cadastro técnico e demais informações obtidas na SABESP foi possível ser elaborado um modelo matemático para simular as condições hidráulicas de operação em regime permanente. Foi utilizado o programa de computador EPANET (LNEC, 2002 e LNEC, 2004) para avaliar as condições hidráulicas (pressões, velocidades, perdas de carga e vazões) nos trechos da rede de distribuição. Estas informações permitiram verificar trechos que não estão em conformidade com a normalização brasileira, possíveis áreas de desabastecimento, pressões elevadas, pressões inferiores à mínima, velocidades nas redes entre outras. Foram consideradas críticas:
 - Áreas com possível desabastecimento;
 - Áreas com pressão inferior a pressão mínima prevista em norma;
 - Áreas com pressões elevadas;
 - Extremidades da rede sem dispositivos de descarga;
 - Áreas com baixas velocidades da água.

5.3.1.4 Descrição do ambiente no entorno das redes de distribuição de água

Foi preciso compreender o ambiente no qual está inserida a rede de distribuição de água dentro de cada setor de abastecimento, para ser possível identificar as fontes e ambientes perigosos que poderiam afetar a qualidade da água na rede de distribuição. Os principais perigos considerados foram:

- Esgotamento sanitário:
 - Cobertura segundo o tipo de solução adotada (individual ou coletiva);

- População servida pelas diferentes formas de solução adotada (individual ou coletiva);
 - Tipo de solução adotada;
 - Localização das tubulações;
 - Localização das estações elevatórias e de tratamento de esgotos.
- Drenagem superficial - drenos, canais de esgotamento etc.;
- Estradas, rodovias e acessos;
- Localização das tubulações de água em relação a cursos de água (travessias);
- Áreas que concentram atividades industriais;
- Aterros sanitários, industriais ou vertedores a céu aberto;
- Favelas, invasões, assentamentos clandestinos etc.;
- Áreas sujeitas à inundação;
- Áreas permanentemente alagadas.

Estas informações foram utilizadas para identificar áreas prioritárias de ocorrência de fontes e ambientes perigosos, como por exemplo, coletores de esgotos implantados próximos à rede de água que podem levar a eventos de contaminação. Estas informações foram obtidas diretamente dos cadastros dos serviços de água e esgoto (SABESP) e de inspeções realizadas em campo.

5.3.2 Avaliação de Riscos em redes de distribuição de água

Neste estudo, semelhante ao de Godfrey et al. (2002) e Tibatemwa et al. (2003), foram considerados os seguintes fatores de risco:

- Fontes e ambientes perigosos;
- Vulnerabilidade da rede de distribuição de água;
- Suscetibilidade da população abastecida.

Risco foi aqui definido como a vulnerabilidade da rede de distribuição à contaminação da água, associada à suscetibilidade da população frente a ocorrência de eventos perigosos.

Foi utilizado o método semi-quantitativo para a avaliação de risco microbiológico na rede de distribuição de Itatinga. A escolha recaiu sobre este método devido a existência de um conjunto razoável de informações que possibilitou

efetuar uma avaliação mais detalhada do sistema, ao invés da simples estimativa qualitativa de risco. Não havia informações suficientes para utilizar o método de avaliação de risco quantitativo.

O objetivo de bem conhecer a rede de distribuição de água foi avaliar sua vulnerabilidade aos riscos microbiológicos, o que foi baseado exclusivamente nas informações obtidas durante a fase de descrição e análise do sistema de abastecimento de água.

A avaliação, sempre que possível, foi realizada em cada trecho da rede de distribuição e para a sua realização foi importante a escolha de apropriadas variáveis de perigo/risco, pois a mensuração das variáveis forneceu a base para a estimativa de risco. Quando não foi possível obter variáveis que caracterizassem os trechos a opção foi manter variáveis que pudessem caracterizar o setor de abastecimento ou a rede como um todo.

Algumas variáveis eram compostas por um conjunto de sub-variáveis e foi necessário estabelecer uma hierarquia entre os fatores, variáveis e sub-variáveis de risco, para ser possível definir a importância de cada variável de risco nos diferentes níveis da avaliação. A hierarquia dos fatores, variáveis e sub-variáveis nos diferentes níveis da avaliação de risco adotada neste estudo é mostrada na Figura 5.3.

A partir dessas observações e para proceder a identificação e classificação dos perigos foram consideradas quatro categorias de perigos às quais foram associados valores numéricos. As categorias de perigo propostas e os valores numéricos associados estão indicados no Quadro 5.1.

A avaliação foi dividida conforme os fatores de risco envolvidos e, os critérios utilizados para a pontuação das variáveis e sub-variáveis estão descritos no item 5.3.2.1.

5.3.2.1 Avaliação de fontes e ambientes perigosos

Segundo Godfrey and Howard (2005a e 2005b) a avaliação de fontes e ambientes perigosos é a chave para compreender o risco relativo a contaminação da água em tubulações da rede. A avaliação de fontes e ambientes perigosos foi dividida em duas categorias:

- Fontes de Perigo
- Ambientes Perigosos

Quadro 5.1 - Categorias e pontuação adotadas para os perigos e riscos.

Categoria de Perigo	Pontuação Associada a Categoria	Descrição da categoria
Muito Baixo	1	Representa situações de ausência ou que o perigo apresenta baixa gravidade.
Baixo	2	Representa situações em que existe perigo e tem gravidade intermediária entre a 1ª. e 3ª. categoria.
Médio	3	Representa situações em que existe perigo e tem gravidade intermediária entre a 2ª. e 4ª. categoria, tem maior perigo em comparação com a categoria 2.
Alto	4	Representa situações de perigo com elevada gravidade.

5.3.2.1.1 Fontes de perigo

Foram usadas informações sobre a topografia da área estudada e do cadastro do sistema de esgoto sanitário para identificar as fontes de perigo, ou seja:

- Áreas atendidas com rede coletora de esgoto;
- Áreas com soluções individuais para o esgotamento sanitário;

Este estudo trata especificamente da avaliação de riscos microbiológicos e, portanto, a principal fonte de perigo são as excretas humanas que podem ser estimadas em termos de carga fecal, ou seja, da quantidade de excretas presentes ou circulantes no ambiente em análise.

Inicialmente foi imaginado efetuar a avaliar das condições hidráulicas da rede coletora para se estabelecer a sua capacidade em veicular os esgotos gerados em Itatinga, contudo não foi possível utilizar esta alternativa porque as informações sobre a rede coletora de esgotos se resumiam a indicação das ruas onde estava instalada a rede, tipo de rede (simples ou dupla) e diâmetro das tubulações – não havia informações precisas sobre profundidade de assentamento das tubulações. Assim, foi elaborado um conjunto de critérios mais simples que se baseou na premissa de que o diâmetro das tubulações de esgotos têm relação direta com a vazão escoada e, esta, com a carga fecal veiculada.

Contudo, somente a carga fecal não foi suficiente para caracterizar o perigo, por isso foi necessário usar o modelo de contaminação fonte-meio-receptor descrito em Godfrey and Howard (2004 e 2005a) em que foi considerado:

- Fonte: a rede coletora responsável pelo esgotamento da área a montante da seção analisada;
- Meio: o ambiente entre a fonte e o receptor, cuja distância auxiliará na caracterização do perigo;
- Receptor: o trecho da rede de distribuição em análise.

As informações sobre o sistema de esgoto sanitário da cidade de Itatinga foram utilizadas para serem conhecidas as áreas servidas com rede coletora de esgoto e verificar os locais que adotavam soluções individuais. Foi considerado que o perigo provocado por vazamentos na rede coletora era função do material e número de juntas da tubulação. Assim a pontuação dada para a variável fonte de perigo, ou seja, a carga fecal, era função do perigo provocado por vazamentos e da quantidade de carga fecal veiculada na rede coletora de esgoto.

Assim tubulações de material cerâmico, por apresentar maior quantidade de juntas em relação ao PVC ou ferro fundido – os tubos cerâmicos têm comprimento de 2,0 m enquanto os tubos de PVC e ferro fundido 6,00 m - seriam mais vulneráveis a vazamentos de esgotos, fato este que, criava um ambiente perigoso na existência de rede de distribuição de água implantada nas proximidades.

As juntas elásticas usadas nas tubulações de PVC e ferro fundido também foram identificadas como importantes barreiras para se evitar o vazamento dos esgotos – as juntas dos tubos cerâmicos geralmente compostas por material betuminoso ou cimento são mais vulneráveis a vazamentos. Foi considerado, também, que rede coletora com diâmetros das tubulações inferiores a 150 mm eram mais suscetíveis a entupimentos e portanto apresentavam maior perigo em relação as demais tubulações.

Assim da associação do diâmetro da rede coletora com a carga fecal, do material da tubulação da rede coletora e da sua distância até a rede de distribuição de água foram elaborados os Quadros 5.2 e 5.3 e as Figuras 5.4 e 5.5 em que são pontuadas as fontes perigosas.

Quadro 5.2 - Critérios para pontuação da variável fonte de perigo – soluções coletivas, em função do diâmetro e material da rede coletora de esgoto e sua distância horizontal, em relação a rede de distribuição de água.

Diâmetro da tubulação da rede coletora (mm)	Material da tubulação da rede coletora	Distância horizontal entre a rede coletora e a rede de distribuição – L (m) – vide Figura 5.4.		
		L < 1,00	1,00 < L < 3,00	L > 3,00 m
< 150	Qualquer material	4	4	2
150	Material Cerâmico	4	4	2
	PVC e FoFo	3	2	1
≥ 200	Material Cerâmico	4	4	2
	PVC e FoFo	4	3	1

Figura 5.4 - Distância horizontal entre a rede de distribuição de água e a rede coletora de esgoto (L).

Quadro 5.3 - Critérios para pontuação da variável fonte de perigo – soluções coletivas em função do diâmetro e material da rede coletora de esgoto e sua distância vertical, em relação a rede de distribuição de água.

Diâmetro da tubulação da rede coletora (mm)	Material da tubulação da rede coletora	Distância vertical entre a rede coletora e a rede de distribuição – H (m) – vide Figura 5.5.		
		$H < 0,30$	$0,30 \leq H \leq 1,00$	$H > 1,00$ m
< 150	Qualquer material	4	3	2
150	Material Cerâmico	4	3	2
	PVC e FoFo	3	2	1
≥ 200	Material Cerâmico	4	3	2
	PVC e FoFo	2	2	1

Figura 5.5 - Distância vertical entre a rede de distribuição de água e a rede coletora de esgoto (H).

Porém, quanto a parcela de 9% da população atendida com rede de água e não possui rede coletora de esgoto, foram adotados os critérios indicados no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 - Critérios para pontuação da variável fonte de perigo – soluções individuais em função do tipo de solução de esgotamento adotado e a distância horizontal, em relação a rede de distribuição de água..

Risco	Critério de risco
4	Esgoto ou excretas dispostos a céu aberto, próximo (L<3,00 m) da rede de distribuição de água.
3	Instalações sanitárias prediais e disposição através de fossas negras, próximo (L<3,00 m) da rede de distribuição de água.
3	Instalações sanitárias prediais e disposição através de fossa séptica e sumidouro, próximo (L<3,00 m) da rede de distribuição de água.
1	Instalações sanitárias prediais, tratamento individual e disposição final sanitária para o esgoto em corpos receptores

5.3.2.1.2 Ambientes perigosos

As áreas sujeitas à inundação e corrosividade do solo foram consideradas como ambientes perigosos devido à possibilidade de acesso das águas originárias do lençol freático ou de inundações à rede de distribuição através de vazamentos e retrossifonagem. A composição do solo na qual está assentada a rede foi importante fator considerado na avaliação dos perigos devido a corrosão de tubos metálicos. A corrosão pode levar a rupturas, vazamentos e retrossifonagem indesejadas na rede de distribuição. A partir destas premissas foram considerados os seguintes critérios para a avaliação de risco relacionada a fontes e ambientes perigosos.

5.3.2.1.3 Corrosividade do solo

Seguindo a recomendação feita por Godfrey et al. (2002), na avaliação de perigos também foi introduzida a variável corrosão externa que, por ser fator que causa grandes avarias nas tubulações, constitui principal fator de deterioração das tubulações (NRC, 2006). A corrosão interna não foi considerada neste estudo por se

tratar de variável ligada diretamente ao tratamento da água, embora influencie sobremaneira a integridade física e hidráulica da rede.

Também não foi considerada os efeitos da corrosão eletrolítica nas tubulações metálicas devido a linha férrea existente já não operar trens movidos a energia elétrica, o sistema de alimentação à energia elétrica foi desativado.

Assim, considerando que a corrosão externa depende do material da tubulação e do tipo de solo foi elaborado o Quadro 5.6.

Quadro 5.5 - Critérios para pontuação da variável ambientes perigosos.

Risco	Critério de risco
4	Rede instalada em áreas permanentemente alagadas
3	Rede localizada em áreas sujeitas a inundações periódicas ou que o lençol freático encontra-se, em determinado período do ano, próximo a superfície do tubo – $h < 0,30\text{m}$..
2	Redes instaladas em áreas sujeitas à inundação pouco frequentes e nível do lençol de água subterrâneo distante da rede de distribuição ($h > 0,30\text{ m}$).
1	Redes localizadas em áreas com baixa probabilidade de inundação e nível do lençol freático distante da rede de distribuição ($h > 0,30\text{ m}$).

Quadro 5.6 - Critérios para pontuação de perigos associados a corrosão externa.

Tipo de Solo	Materiais das tubulações			
	Ferro Dúctil	PVC	Cimento Amianto	Ferro Galvanizado
Areia	1	1	1	1
Areia argilosa	2	1	2	3
Areia argilo-siltosa	3	1	2	3
Areia siltosa	3	1	3	3
Silte	4	1	4	4
Silte argiloso	4	1	4	4
Argila arenosa	4	1	4	4
Argila siltosa	4	1	4	4
Argila	4	1	4	4

5.3.2.2 Avaliação da vulnerabilidade da rede de distribuição de água

Neste estudo a avaliação de risco da vulnerabilidade foi baseada nos conceitos de integridade da rede de distribuição e foi assim detalhada:

Vulnerabilidade Física - foram utilizados dados diretamente relacionados as características físicas e construtivas das redes e sua potencial vulnerabilidade a eventos perigosos.

Vulnerabilidade Hidráulica – foram usados dados do controle operacional: falhas nas tubulações, vazamentos, pressões e perdas de água – foram avaliadas fundamentalmente as características hidráulicas de operação da rede.

Vulnerabilidade da Qualidade da Água – foram utilizados dados de monitoramento da qualidade da água: turbidez, coliformes, residual de desinfetante e pH – foram fundamentalmente avaliados parâmetros ligados a qualidade da água.

O Quadro 5.7 detalha as variáveis usadas para caracterizar a vulnerabilidade a partir da divisão descrita acima.

Quadro 5.7 - Variáveis usadas para a avaliação da vulnerabilidade da rede

Vulnerabilidade Física	Vulnerabilidade Hidráulica	Vulnerabilidade da Qualidade da Água
<ul style="list-style-type: none"> – Idade da tubulação – Material da tubulação – Comprimento da tubulação – Diâmetro da tubulação 	<ul style="list-style-type: none"> – Pressão – Perda de Água – Vazamentos 	<ul style="list-style-type: none"> – Residual de cloro e pH – Turbidez – Coliformes e <i>E. coli</i>

Para efetuar esta avaliação a rede foi dividida em trechos nos quais as tubulações tinham os mesmos atributos físicos (material, diâmetro, idade etc.). Estes trechos foram numerados e esta identificação serviu também como base para a modelagem hidráulica da rede de distribuição. As variáveis Perda de Água, Residual do Desinfetante, pH, Turbidez, Coliformes e *E. coli* foram avaliadas em função das zonas de abastecimento.

5.3.2.2.1 Vulnerabilidade Física

a) Material da tubulação

A análise da rede de distribuição de água de Itatinga revelou que o sistema possuía 4 tipos de materiais de tubulações:

- a. PVC
- b. Cimento Amianto
- c. Ferro dúctil
- d. Ferro Galvanizado

Não foi considerado nesta avaliação a tubulação dos ramais das ligações domiciliares, constituídos normalmente por tubos de polietileno de alta densidade (PEAD).

Semelhante aos estudos de Godfrey et al. (2002) e Tibatemwa et al. (2003), foram consideradas cinco sub-variáveis de risco para caracterizar a variável material da tubulação: falha na tubulação, rugosidade dos tubos, formação de biofilme e consumo de cloro. Para cada sub-variável foram prescritos valores de risco baseados nas evidências encontradas na literatura técnica.

Para a sub-variável falhas na tubulação, em estudo efetuado por Rajani e Kleiner (2001), os autores concluíram que tubos plásticos de grande diâmetro são mais suscetíveis a falhas do que tubos metálicos. Contudo, neste estudo, aos tubos de ferro galvanizado e cimento amianto foram atribuídos os maiores valores de risco à falha, pois o ferro galvanizado revelou estar sujeito a rápida deterioração, além de ser difícil realizar a sua manutenção quando de avarias. Os tubos de cimento amianto não são mais produzidos no Brasil para distribuição de água e, atualmente é difícil encontrar peças de reposição para consertos na rede. A pontuação de perigos referentes a falhas é dada no Quadro 5.8.

Quadro 5.8 - Critérios para pontuação de perigos associados a falhas nas tubulações.

Material do tubo	Pontuação associada
PVC (classe 15)	1
Cimento Amianto (classe 15)	4
Ferro Dúctil (classe K-7)	2
PVC – 1 MPa	3
Ferro Galvanizado	4

Para a sub-variável rugosidade da superfície interna da tubulação, pesquisa realizada na literatura técnica permitiram elaborar o Quadro 5.9.

Para a sub-variável formação de biofilme foi utilizada a pesquisa realizada por LeChevalier (LeChevalier, 1999a) na qual foi observado que, devido a corrosão – fenômeno relacionado a tubos metálicos - o desenvolvimento do biofilme foi mais rápido em superfícies de tubos de ferro do que em tubos de PVC. A escolha desta sub-variável tem por base o fato de a formação do biofilme resultar no aumento do consumo de cloro e na redução da proteção da rede ao ingresso de contaminantes. O Quadro 5.10 mostra os valores de risco adotados para cada material.

Quadro 5.9 - Critérios para pontuação de perigos associados a rugosidade da parede dos tubos.

Material do tubo	Rugosidade absoluta equivalente (mm)	Pontuação associada
PVC (classe 15)	0,0015 a 0,010 ⁽¹⁾	1
Cimento Amianto (classe 15)	0,025 a 0,05 ^(1,2)	2
Ferro Dúctil (classe K-7)	0,125 a 5 ^(1,2)	4
Ferro galvanizado	0,015 a 2 ⁽²⁾	3
Nota: ⁽¹⁾ Porto, 2000. ⁽²⁾ Azevedo Netto et al., 1999.		

Quadro 5.10 - Critério de pontuação para a variável formação do biofilme nas paredes dos tubos.

Material do tubo	Pontuação associada
PVC (classe 15)	1
Cimento Amianto (classe 15)	2
Ferro Dúctil (classe K-7)	3
Ferro galvanizado	4

Para a sub-variável consumo de cloro, a valoração dos perigos teve por base o estudo de Kiene et al. (1998) que avaliaram o consumo de cloro em tubos de materiais sintéticos e em tubos metálicos e concluíram que o consumo de cloro em tubos metálicos é maior do que em tubos sintéticos, devido ao excessivo consumo do cloro em depósitos originados da corrosão. O Quadro 5.11 descreve os valores de riscos atribuídos aos tubos da rede de distribuição de Itatinga

Quadro 5.11 - Critérios de pontuação para a variável consumo de cloro em tubulações.

Material do tubo	Pontuação associada
PVC (classe 15)	1
Cimento Amianto (classe 15)	2
Ferro Dúctil (classe K-7)	3
Ferro Galvanizado	4

Os perigos associados a cada uma das sub-variáveis foram agrupados e, através de uma escala de ponderação baseada no Método de Análise Hierárquica, foram calculados os perigos relacionados aos materiais das tubulações. O resumo da pontuação dos perigos associados a falhas, fricção, formação de biofilme e consumo de cloro são mostrados no Quadro 5.12.

Quadro 5.12 - Resumo da pontuação dos perigos segundo as variáveis que foram usadas para caracterizar os materiais das tubulações.

Material do tubo	Falha	Rugosidade	Consumo de Cloro	Formação de biofilme
PVC	1	1	1	1
Cimento Amianto	4	3	3	3
Ferro Dúctil	3	4	4	4
Ferro Galvanizado	4	4	4	4

b) Diâmetro dos tubos

A pontuação associada ao diâmetro das tubulações se baseou nos estudos de Cooper et al. (2004) e Kiene et al. (1998) que revelaram que as tubulações de grande diâmetro são menos suscetíveis a falhas em comparação com as de menor diâmetro. Foi adotado para o diâmetro de 300 mm, que diferencia a rede primária e as redes secundárias, uma pontuação de perigo igual a 1 e uma gradação arbitrária para tubos de menor diâmetro (maior perigo). Tubulações com diâmetro de 125 mm foram pontuadas com valor 4 pois, atualmente não são fabricados tubos para rede de distribuição com este diâmetro. Assim a valoração de risco adotada, considerando a variável diâmetro das tubulações, pode ser vista no Quadro 5.13.

Quadro 5.13 - Critérios para pontuação da variável diâmetros das tubulações

Diâmetro dos tubos (mm)	Pontuação associada
≤ 50	4
75	3
100	3
125	4
150	2
200	2
250	2
300	1

c) Comprimento da tubulação

Conforme reportam Godfrey et al. (2002) a vulnerabilidade de um tubo está diretamente relacionada ao seu comprimento e, baseado nos estudos desenvolvidos por Ballantyne and More (1995) e Geldreich (1996), foi adotado um maior valor de vulnerabilidade para as tubulações de maior comprimento. As tubulações de 100 metros de extensão foram considerados menos vulneráveis do que as tubulações com 300 metros de extensão. A escolha dos limites de comprimento de tubos entre as diferentes categorias de perigo é característica própria de cada sistema; neste estudo foi adotado o valor de 120,00 m – comprimento médio entre duas ruas paralelas como o valor mínimo e, portanto, representa situação de menor perigo. As demais categorias foram arbitradas como múltiplos deste valor. O Quadro 5.14 mostra a associação feita entre quatro faixas de comprimento de rede e suas respectivas categorias de perigo.

Quadro 5.14 - Critérios para pontuação de perigos associados ao comprimento das tubulações

Comprimento das tubulações (m)	Valor do perigo associado
$\leq 120,00$ m	1
$120 < L \leq 240$	2
$240 < L \leq 360$	3
$L > 360$	4

d) Idade da tubulação

Herz (1998) relata ser difícil prognosticar quanto tempo as redes vão durar e com que frequência falhariam, pois existe forte dependência em relação ao material dos tubos. É preciso conhecer o histórico das falhas para ser possível estabelecer a predição da vida útil dos diferentes materiais dos tubos a curto prazo definida como um tempo de vida inferior e a longo prazo - tempo de vida superior. Exemplos do modelo proposto por Herz (1998) são mostrados no Quadro 5.15.

Quadro 5.15 - Relação entre material e idade da tubulação

Material da tubulação	Limite Inferior (anos)	Limite Superior (anos)
Aço e Ferro Galvanizado	10	40
PVC	15	50
Polietileno de Alta Densidade	20	50
Ferro Fundido	30	70
Cimento Amianto	40	70
Ferro Dúctil	60	100

Fonte: adaptado de Herz and Lipkow, 2002.

A partir dos estudos de Herz (1998) e Herz and Lipkow (2002), foi construído o Quadro 5.16 no qual estão relacionados idade das tubulações e os perigos associados a ela. Para o cimento amianto não foi seguido este critério pois este material já se encontra em desuso e foi adotado critério semelhante ao PVC. Considerando que os trechos indicados nos intervalos constituem situações críticas foi elaborada uma escala de perigo arbitrária para cobrir as lacunas existentes nos intervalos em que ainda não há informação disponível.

Quadro 5.16 - Critérios para pontuação de perigos em função da idade da tubulação.

Tubulação	Estudos	Período de tempo após a implantação da tubulação (anos)											
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
PVC	HERZ												
	RISCO	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	
CIMENTO AMANTO	HERZ												
	RISCO	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	
FERRO DÚCTIL	HERZ												
	RISCO	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	
AÇO FERRO GALVANIZADO	HERZ												
	RISCO	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	

Fonte: adaptado de Herz. 1998 e Herz e Lipkow, 2002.

5.3.2.2.2 Vulnerabilidade Hidráulica

Para descrever a integridade hidráulica do sistema foram escolhidos os seguintes indicadores: vazamentos, perdas e pressões na rede de distribuição da água. Para caracterizar estas variáveis os dados foram coletados diretamente do setor de operações da SABESP. As informações utilizadas nesta avaliação foram:

- Relatório de consertos de vazamentos e rompimentos na rede;
- Relatório do programa de controle de perdas;
- Boletim do serviço de atendimento ao consumidor quanto à reclamações de água que se apresentavam fora de conformidade com as normas vigentes;
- Cadastro técnico da rede de distribuição de água.

A partir dessas informações a rede de distribuição de água de Itatinga foi modelada através do programa de computador EPANET (LNEC, 2002). Os dados obtidos serviram para detectar áreas com problemas de pressão e desabastecimento. Estas informações foram posteriormente verificadas junto à área de serviço de atendimento ao consumidor para identificar áreas com reclamação de desabastecimento e problemas com a qualidade da água apontadas pelos consumidores junto ao serviço de atendimento da SABESP.

a) Vazamentos

As informações sobre vazamentos envolveram tanto os vazamentos que ocorreram diretamente na rede de distribuição como também aqueles relacionados à ligação predial. Em função da quantidade de vazamentos ocorridos em cada trecho da rede de distribuição foi adotada a escala de risco indicada no Quadro 5.17.

b) Perdas

Segundo USEPA (2006b) sistemas de distribuição com elevados índices de perdas, altas taxas de vazamentos e suscetibilidade à pressões baixas ou negativas têm maior potencial para intrusão de contaminantes.

Quadro 5.17 - Critérios para pontuação de perigos associados à variável vazamentos ocorridos durante o ano de 2008.

Quantidade de Vazamentos no trecho	Pontuação associada
0	1
1 ou 2	2
3 ou 4	3
5 ou mais	4

Para quantificar os riscos devido às perdas de água foi utilizado como indicador o índice de perdas (IP) calculado pela equação 5.1:

$$IP = \frac{\text{Volume de água produzido por mês} - \text{volume de água consumida por mês}}{\text{Volume de água produzido por mês}} \times 100 \quad \text{equação 5.1}$$

Baseado em Marka (2004) e Tardelli Filho (2004) foi elaborado a classificação de perigo indicada no Quadro 5.18.

Quadro 5.18 - Critérios para pontuação de perigos associados a perda de água no sistema.

Valores de Perdas (%)	Pontuação associada
IP < 20%	1
20 < IP < 27	2
27 < IP < 40	3
IP > 40	4

Este critério para pontuação de risco diz respeito à área em que o índice foi medido e ele foi usado em todos os trechos de tubulação daquela região. Esta região pode ser representada pelo distrito pitométrico, zona de abastecimento, setor de abastecimento ou por todo o sistema de abastecimento de água. Quanto menor a região analisada, melhor é a possibilidade de caracterizar os perigos.

c) Pressão

Segundo USEPA (2006b) o monitoramento das pressões em partes do sistema de distribuição possibilita identificar alterações indesejáveis de pressão que podem levar a entrada de contaminantes no sistema de distribuição. Trechos da rede de distribuição que operam com pressões baixas ou negativas estão vulneráveis a contaminação externa. O conhecimento de eventos que levam a alterações significativas de pressão podem ajudar no melhor entendimento do problema e, assim, prevenir a sua ocorrência (LeChevallier et al., 2002). Segundo USEPA (2002a) é possível inferir que pressões baixas ou negativas em trechos da rede de distribuição de água são indicadores eficazes de locais com alta probabilidade de contaminação.

Assim, para avaliar os riscos decorrentes da pressão no sistema de distribuição de água foram consideradas as seguintes pressões:

PMS : Pressão máxima de serviço – pressão interna máxima, incluindo transiente hidráulico, que uma tubulação pode suportar em serviço.

P_{min} : Pressão mínima na rede de distribuição de água conforme prescrito na norma brasileira NBR 12.218:1994 cujo valor é de 100 kPa ou 10 mca;

P_{max} : Pressão máxima na rede de distribuição de água conforme prescrito na norma NBR 12.218:1994 cujo valor é de 500 kPa ou 50 mca

A Figura 5.6 mostra a escala valores de perigos para estas pressões e que foi adotada neste estudo.

Crítérios de Risco	0	Pmin	Pmáx	PMS	
Faixa de pressão segundo a NBR	4	3	1	2	4
Faixa de pressão em que a rede está sujeita intrusões	4	3	2	1	4
Faixa de pressão em que a tubulação encontra-se acima da pressão máxima suportável	1	1	2	3	4
Somatório	9	7	5	6	12
RISCO ASSOCIADO	4	3	1	2	4

Figura 5.6 - Escala de valores de vulnerabilidade associada as pressões nas tubulações da rede.

Esta escala de valores foi utilizada considerando as duas situações de pressão que ocorrem durante a operação da rede de distribuição:

Pd : pressão dinâmica na rede de distribuição de água conforme definida no item 4.19.13;

Pe : pressão estática na rede de distribuição de água conforme definida conforme 4.19.13;

A Figura 5.7 mostra a pontuação dos perigos associados as pressões na rede de distribuição para diversas situações de operação do sistema.

Pressão Dinâmica (mca)	Vulnerabilidade (Vi)		Pressão Estática (mca)					
			$Pe < 0$	$0 < Pe < Pmin$	$Pmin < Pe < Pmax$	$Pmax < Pe < PMS$	$Pe > PMS$	
			Vest					
			4	3	1	2	4	
$Pd < 0$	Vdin	4						
$0 < Pd < Pmin$		3	Condição hidráulica impossível	9	3	6		
$Pmin < Pd < Pmax$		1			1	2		
$Pmax < Pd < PMS$		2				4		
$Pd > PMS$		4						
Escala de perigo :								
- Se vulnerabilidade (Vh ou Vv) igual a 4 - situação de ALTO RISCO independente do outro fator.								
- Se Vdin x Vest = 1 - MUITO BAIXO PERIGO								
- Se 1 < Vdin x Vest < OU = 4 - BAIXO PERIGO								
- Se 4 < Vdin x Vest < OU = 9 - MÉDIO PERIGO								

Figura 5.7 - Critérios para pontuação de perigos relacionados as pressões encontradas na rede de distribuição.

5.3.2.2.3 Vulnerabilidade da qualidade da água

Os dados usados para avaliar a vulnerabilidade da qualidade da água foram obtidos diretamente dos relatórios de controle da qualidade da água da operadora do sistema (SABESP) e dos relatórios do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, obtidos na Secretaria Municipal de Saúde de Itatinga.

Os indicadores foram escolhidos exclusivamente para caracterizar a água distribuída sob a ótica dos riscos microbiológicos. Assim, baseado em USEPA

(2006b), foram escolhidos os indicadores: coliformes totais, E. coli, residual do desinfetante, pH e turbidez.

Como não era factível obter dados de todos os trechos da rede de distribuição, na caracterização dos perigos foram considerados os setores de abastecimento como unidade de análise. Desta forma a não conformidade encontrada no resultado das amostras laboratoriais serviu para caracterizar toda a zona ou setor de abastecimento. Os critérios usados para a avaliação de risco foram baseados principalmente na legislação sanitária vigente e relacionada ao assunto (BRASIL, 2004) e complementados com informações obtidas na literatura técnica

a) Turbidez

O Padrão de Potabilidade descrito em Brasil (2004) foi utilizado para estabelecer o critério de avaliação de risco para a turbidez da água na rede de distribuição. Segundo o Padrão de Potabilidade a turbidez na rede de distribuição de água deve ser inferior a 5,0 UT, portanto, valores acima deste foram considerados perigosos. Foi considerado que o aumento dos perigos está diretamente relacionado a elevação do valor da turbidez, foi arbitrada a pontuação indicada no Quadro 5.19.

Quadro 5.19 - Critérios para pontuação de perigos associados a Turbidez da água encontrada na rede de distribuição

Situação encontrada	Pontuação associada
Turbidez em qualquer ponto da rede de distribuição for maior ou igual a 5,0 UNT	4
Turbidez em qualquer ponto da rede de distribuição estiver no intervalo de $5,0 < [\text{turbidez}] \leq 4,0$ UNT	3
Turbidez em qualquer ponto da rede de distribuição estiver no intervalo de $4,0 < [\text{turbidez}] \leq 2,0$ UNT	2
Turbidez em qualquer ponto da rede de distribuição for menor que 2 UNT.	1

b) Residual de cloro (desinfetante) e o pH

Considerando que a eficácia do cloro como desinfetante depende entre outros fatores do pH, a pontuação dos perigos para o residual do desinfetante foi baseada na Figura 5.8 obtida em Butterfield and Wattie (1946) apud Rossin (1987) que apresenta valores de residuais mínimos de cloro livre para ação bactericida em águas para consumo humano. Observe que os valores indicados na Figura 5.8 estão em conformidade com o Padrão de Potabilidade (Brasil, 2004) que, prescreve a necessidade da manutenção - de no mínimo, 0,2 mg/L - em qualquer ponto da rede de distribuição e recomenda que a cloração seja feita em pH inferior a 8,0.

Figura 5.8 - Residual mínimo de cloro livre para ação bactericida.

Fonte: Butterfield and Wattie, 1946 apud Rossin, 1987.

Butterfield, C.T. and Wattie, E. (1946) Influence of pH and temperature on survival of coliforms and enteric pathogens when exposed to chlorine. *Public Health Report.*, 61-157.

A partir das informações contidas na Figura 5.8 foi proposta a gradação de risco mostrada na Figura 5.9.

Figura 5.9 - Pontuação de perigos relacionados ao Residual de Cloro Livre e pH.

c). Coliformes Totais e *E. coli*

Os coliformes totais e *E. coli* aqui considerados são bactérias do grupo coliforme definidos segundo a norma de qualidade da água para consumo humano vigente (BRASIL, 2004).

O critério adotado prescreve que a água distribuída deveria estar em conformidade com o padrão microbiológico definido pelo Padrão de Potabilidade

(BRASIL, 2004). O sistema de abastecimento de água de Itatinga analisa mais de 4 amostras de água por mês e portanto, os critérios de perigo foram definidos conforme mostra o Quadro 5.20.

Quadro 5.20 - Critério para pontuação de perigos relacionados as variáveis Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

Forma de Controle de Qualidade da Água pela Operadora ⁽¹⁾	Presença ou Ausência de Coliformes Totais	Pontuação associada
Sem controle de qualidade		4
Com controle da qualidade	Presença de Coliformes Totais em 95% das amostras	4 ⁽²⁾
		3 ⁽³⁾
	Ausência de Coliformes Totais em 95% das amostras	4 ⁽²⁾
		2 ⁽³⁾
	Ausência de Coliformes Totais em 100% das amostras	1

Nota:

- (1) O controle de Qualidade da Água aqui considerado diz respeito ao conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelo responsável pela operação do sistema, atividades essas destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável em relação ao parâmetro analisado (coliforme total) e se ela assegura esta condição. Pode ser entendido também como o sistema que atende aos Padrões de Potabilidade para o parâmetro coliforme total.
- (2) Amostras com resultados positivos para coliformes totais e com resultado positivo nas análises para *Escherichia coli* ou, coliformes termotolerantes, com verificação e confirmação dos resultados positivos.
- (3) Amostras com resultados positivos para coliformes totais e com resultado negativo nas análises para *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes, com verificação e confirmação dos resultados positivos.

Fonte: Brasil, 2004.

5.3.2.2.4 Suscetibilidade

Na avaliação de suscetibilidade da população de Itatinga foi utilizado um indicador substituto que possibilitou identificar as áreas mais pobres de Itatinga que, segundo Godfrey e Howard (2005b) constituem a população de risco em termos de contaminação da água para consumo humano.

Foi escolhido o “Índice Paulista de Vulnerabilidade Social” por ser um indicador abrangente isto é, baseado em diversas variáveis, para descrever a condição socioeconômica de toda a comunidade - e, ao mesmo tempo; específico, pois traz a análise da comunidade a nível de setores censitários (conjunto de aproximadamente 200 residências) (SEADE, 2008b). Por outro lado, não foi preciso identificar parcelas da comunidade que utilizam outras fontes de abastecimento que não o sistema público de abastecimento de água, pois, o sistema de Itatinga possui alto índice de atendimento (próximo a 100%).

Este indicador, na avaliação das condições socioeconômicas, não considera como variáveis o acesso ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário. Assim, foram evitados os problemas devidos à dupla contagem do efeito da água e esgotamento sanitário nas avaliações das condições socioeconômicas e de perigos a serem feitas.

Os indicadores que compõem o IPVS são:

- População total;
- Percentual da população;
- Domicílios particulares;
- Tamanho médio do domicílios - em pessoas;
- Responsáveis pelo domicílio alfabetizados (%);
- Responsáveis pelo domicílio com ensino fundamental completo (%);
- Anos médios de estudos do responsável pelo domicílio;
- Rendimento nominal médio do responsável pelo domicílio – em reais de julho de 2000.
- Responsáveis com renda de até 3 salários mínimos (%);
- Responsáveis com idade entre 10 e 29 anos (%);
- Idade média do responsável pelo domicílio – em anos;
- Mulheres responsáveis pelo domicílio (%), e
- Crianças de 0 a 4 anos no total de residentes (%).

A adoção do “Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS” foi estratégico por tratar a análise das comunidades pobres de forma abrangente e por não considerar apenas como atributos a renda ou a capacidade do indivíduo ou comunidade na aquisição de bens de consumo. O IPVS não se limita a considerar a pobreza como simples privação de renda, ele leva em conta também fatores como a escolaridade e o ciclo familiar.

A informação usada para medir a vulnerabilidade social teve com fonte os resultados do universo do censo demográfico, o qual foi analisado por setor censitário. Este agrupamento impede que a análise da vulnerabilidade seja feita na escala de famílias e domicílios; na realidade é considerada a vulnerabilidade das áreas nas quais estão localizados essas famílias e domicílios. Contudo, não foi medida a vulnerabilidade do território, mas sim, a da população residente naquelas áreas.

No presente trabalho, a opção foi agregar os seis grupos de vulnerabilidade social detalhada no IPVS em quatro grandes grupos. Este reagrupamento reduz a diversidade e a riqueza de situações de vulnerabilidade social porém, facilita a comparação entre os grupos, além de simplificar a comparação posterior com os demais fatores de perigos.

A partir dos dados agregados do IPVS, foi possível adotar a pontuação para a suscetibilidade indicada no Quadro 5.21.

Foi preciso também definir a quantidade de pessoas suscetíveis expostas aos perigos estudados. Uma vez que a rede de distribuição de Itatinga é do tipo mista, foi considerado que qualquer evento de contaminação poderia atingir todo setor de abastecimento e, portanto, toda a população residente ali estaria sujeita à contaminação.

5.3.2.3 Ponderação dos Riscos

Na ponderação dos perigos/riscos foi adotado o Método Analítico de Hierarquização, técnica matemática que permite ao analista a tomada de decisões a partir de múltiplos critérios; isto é, realizado através da estruturação hierárquica do problema e por uma sequência de julgamentos, através da comparação por pares (GOMES et al., 2004).

Quadro 5.21 - Associação entre vulnerabilidade social e suscetibilidade

Vulnerabilidade Social segundo o IPVS	Vulnerabilidade Social Agregada nesta estudo	Pontuação definida para a suscetibilidade da população aos perigos
Muito Alta	Alta	4
Alta		
Média	Média	3
Baixa	Baixa	2
Muito Baixa	Muito Baixa	1
Nenhuma vulnerabilidade		

Foi utilizado o procedimento indicado na Figura 5.10 para a obtenção dos pesos relativos dos fatores, variáveis e sub-variáveis indicadas no fluxograma da Figura 5.3 e que estão descrito abaixo:

1. Estabelecer a hierarquia entre fatores, variáveis e sub-variáveis;
2. Desenvolver comparações por pares dos fatores, variáveis e sub-variáveis;
3. Preparar uma matriz de julgamento para os fatores, variáveis e sub-variáveis;
4. Calcular o vetor prioridade por fatores, variáveis e sub-variáveis;
5. Comparar as alternativas;
6. Calcular os vetores prioridades para as alternativas;
7. Avaliar a consistência dos julgamentos por pares de fatores, variáveis e sub-variáveis;
8. Calcular o peso ou classificação relativa.

A comparação por pares de fatores ou variáveis do mesmo nível hierárquico utilizou a Escala Fundamental de Saaty apresentada no Quadro 5.22 (GOMES et al., 2004).

Figura 5.10 - Procedimento para obtenção dos pesos relativos para cada fator, variável e sub-variável de risco.

Fonte: adaptado de Vairavamoorthy et al., 2006.

Quadro 5.22 - Escala Fundamental de Saaty para comparação entre pares de variáveis.

Valor	Importância relativa	Expressão Verbal
1	Igual importância	Os dois elementos (variáveis ou sub-variáveis) contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de um sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem um critério em relação ao outro.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o juízo favorecem fortemente um critério em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um critério é muito favorecido em relação ao outro. Pode ser demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um critério em relação ao outro com mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições acima.

Fonte: adaptado de Gomes et al., 2004.

5.3.2.2.4 Desenvolvimento da Matriz de Risco

A matriz de risco inicial foi construída a partir dos fatores de risco: perigo, vulnerabilidade e suscetibilidade, cada qual com suas variáveis e sub-variáveis e respectivos pesos conforme disposição hierárquica indicada na Figura 5.3.

O objetivo da matriz de risco foi definir um risco para cada trecho da rede de distribuição de água de Itatinga. O uso de uma matriz numérica possibilitou estimar a vulnerabilidade para cada trecho da rede de distribuição através das variáveis e sub-variáveis escolhidas e que foram pontuados segundo os critérios definidos no item 5.3.2 e ponderadas a partir dos pesos estabelecidos no Processo de Análise Hierárquica. O produto final da matriz de avaliação de risco forneceu a base para a elaboração do Mapa de Risco.

5.3.3 Elaboração do Mapa de Risco

O mapa de risco foi definido neste estudo como mapa topográfico, de escala variável, no qual são assinalados riscos específicos conforme sua gravidade, severidade ou probabilidade de ocorrência.

O objetivo do mapeamento de risco foi identificar geograficamente áreas ou trechos da rede de distribuição de água de Itatinga que apresentavam maior risco de contaminação microbiológica. A combinação de dados de campo coletados durante a fase de descrição do sistema associados aos resultados obtidos na avaliação de risco foram usados para compor o mapa de risco final da rede de distribuição de água de Itatinga.

5.3.4 Priorização dos riscos

Conforme relatam WHO (2004a), Godfrey and Howard (2004) e Deere (2001) deve ser definido um limite acima do qual todos os perigos requerem atenção imediata, pois não tem sentido destinar grandes esforços para abordar riscos muito pequenos.

Em função do critério de classificação de riscos adotados foi definido pelo autor um limite para os perigos acima do qual era necessária atenção imediata. A adoção de um sistema de pontuação semiquantitativo aliado a adoção de limites para os perigos permitiu que fossem estabelecidas a ordem de prioridade das medidas de controle correspondentes aos riscos mais significativo. Foi adotado a escala de prioridades indicada na Figura 5.11 e detalhada no Quadro 5.12.

Figura 5.11 - Escala para priorização de perigos.

Quadro 5.23 - Escala adotada de priorização dos riscos.

Escala de Priorização dos perigos	Observações
Perigos que requerem maior atenção	São os perigos que exigem que sejam adotadas medidas de controle imediatas e prioritárias para controlar ou reduzir os riscos ao nível de Perigos que requerem atenção mediana ou baixa.
Perigos que requerem atenção mediana	São os perigos que exigem que sejam adotadas medidas de controle contudo estas medidas não tem caráter imediatas e devem ser efetivadas após o controle ou redução dos Perigos que requerem maior atenção.
Perigos que requerem menor atenção	São os perigos cujas medidas de controle devem ser efetivadas após a redução dos perigos que requerem atenção mediana terem sido controlados ou reduzidos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 INTRODUÇÃO

Os resultados aqui apresentados dizem respeito à aplicação do método proposto ao sistema de abastecimento de água de Itatinga, SP. Apesar de o método estar restrito à avaliação de riscos em redes de distribuição foi preciso descrever todo o sistema de abastecimento de água para haver melhor entendimento do contexto em que a avaliação de risco foi elaborada.

6.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de abastecimento de água de Itatinga, que atualmente atende 98% da população urbana, é composto de captação superficial, estação elevatória de água bruta, adução, uma unidade de tratamento de ciclo completo, unidades de reservação e rede de distribuição (SABESP, 2008b).

A produção de água bruta provém da exploração de um manancial superficial - Rio Novo afluente do Rio Pardo cuja bacia hidrográfica cobre uma área de 4.668,26 km², que representa 27,8% do total da área da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – 17 (SIGRH, 2007). O Rio Novo nasce na Serra de Botucatu, percorre região ocupada por pastagens e culturas de eucalipto e não recebe, até se aproximar de Itatinga, qualquer lançamento de esgoto doméstico de porte.

A captação do Rio Novo é feita através de barragem de nível e poço de sucção, na margem esquerda do manancial está localizada a estação elevatória, equipada com 2 conjuntos moto-bombas para recalque da água bruta até a ETA.

A adutora de água bruta, opera por recalque, de ferro fundido, tem uma extensão total de 920 m e diâmetro de 200 mm (HIDRÓPOLIS, 1997).

O tratamento de água é feito em uma unidade de ciclo completo, composta por dois módulos que operam em paralelo, cada módulo formado por um floculador hidráulico; dois decantadores de fluxo laminar; quatro filtros rápidos por gravidade, de escoamento descendente com lavagem de cada filtro feita com água proveniente dos demais filtros da bateria; desinfecção final através do uso de cloro gasoso e fluoretação – feita com ácido fluorsilícico. A capacidade nominal da ETA é de 40 L/s. A estação de tratamento usa sulfato de alumínio em pó como coagulante e hidróxido de cálcio (cal) para a alcalinização da água e correção do pH final. A ETA, em média, funciona 20 horas por dia. Toda a água tratada é encaminhada para um tanque de contato, no qual é

feita a desinfecção final e, também, é poço de sucção da estação elevatória de água tratada (EEAT).

A adutora de água tratada, de ferro fundido, com aproximadamente 3.000 m de extensão e diâmetro de 200 mm e a EEAT são responsáveis pelo abastecimento do Centro de Reservação do sistema.

A partir do Centro de Reservação toda a água é distribuída para a cidade de Itatinga. O sistema conta com rede de distribuição com uma extensão aproximada de 55 km e 100% das ligações são micromedidas (SABESP, 2008a e 2008b). A evolução do número de economias, ligações e de rede, durante os 4 trimestres de 2008, é mostrada na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Dados Operacionais do Sistema de Abastecimento de Água de Itatinga – 2008.

Trimestres (2008)	Economias					Total de Ligações
	Residenciais	Comerciais	Industriais	Públicas	Total	
1º.	4.328	414	23	57	4.822	4.754
2º.	4.348	416	26	58	4.848	4.771
3º.	4.392	415	26	58	4.891	4.835
4º.	4.396	423	26	58	4.903	4.847

Fonte: SABESP (2008a).

Apesar da SABESP já possuir um esquema geral dos setores de abastecimento de água para Itatinga, a documentação técnica existente relacionada à rede de distribuição de água foi validada através de inspeção de campo. O esquema geral do sistema de abastecimento de água de Itatinga é mostrado na Figura 6.1.

6.2.1 Descrição do sistema de distribuição de água

O sistema de distribuição de água de Itatinga é composto por um centro de reservação, estações pressurizadoras e rede de distribuição de água. O Centro de Reservação, localizado na rua Major Prado, 980 é composto por 3 reservatórios com volume total de armazenamento disponível para 1.900 m³, na Tabela 6.2 são mostradas as suas principais características.

Figura 6.1 - Esquema do Sistema de Abastecimento de Água de Itatinga.

Tabela 6.2 Características físicas dos reservatórios – Itatinga - 2008.

Denominação	Tipo	Volume (m³)	Nível Máxima	Nível Mínimo
R – 1	Enterrado	300	871,30	868,50
R – 2	Apoiado	600	874,00	870,00
R – 3	Apoiado	1.000	874,00	870,00
Total		1.900		

Fonte: HIDRÓPOLIS (1997) e SABESP (2008c).

O sistema de distribuição de água de Itatinga é constituído por apenas um setor de distribuição, composto por quatro zonas de distribuição: zona baixa-1, zona baixa-2, zona alta-1 e zona alta-2. A distribuição do número de economias segundo as zonas de abastecimento para o último trimestre de 2008 estão detalhadas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Distribuição das economias segundo as zonas de abastecimento – Itatinga - 2008.

Zona de abastecimento	Economias Água	%	Cota mínima do Terreno da zona	Cota Máxima do Terreno da zona
Baixa-1	2.929	61%	810,00	854,00
Alta-1	1.446	29%	849,00	870,00
Baixa-2	408	8%	812,14	848,00
Alta-2	120	2%	847,87	856,78
Total	4.903	100%		

Fonte: SABESP (2008a) e SABESP (2008c).

A rede de distribuição de água é formada por tubulações de ferro fundido, PVC, fibrocimento e ferro galvanizado com diâmetros que variam entre 25 mm até 200 mm. A Tabela 6.4 mostra a distribuição dos diâmetros, materiais e zonas de abastecimento.

Tabela 6.4 Distribuição dos diâmetros e tubulações conforme material e zona de abastecimento – Itatinga - 2008.

Zona de Abastecimento	Diâmetro da tubulação (mm)	PVC	Ferro Fundido	Fibro Cimento	Ferro Galvanizado	Total
Baixa-1	<50	281,00	-	-	1.696,00	1.977,00
	50	21.117,00	3.084,00	-	105,00	24.306,00
	75	3.073,00	1.952,00	-	-	5.025,00
	100	1.857,00	726,00	-	-	2.583,00
	125	-	-	-	-	0,00
	150	-	470,00	350,00	-	820,00
	200	-	364,00	687,00	-	1.051,00
	Sub-total	26.328,00	6.596,00	1.037,00	1.801,00	35.762,00
Alta-1	<50	-	-	-	296,00	296,00
	50	9.039,00	432,00	-	-	9.471,00
	75	598,00	1.864,00	-	-	2.462,00
	100	700,00	-	-	-	700,00
	125	-	1.097,00	-	-	1.097,00
	150	-	-	-	-	0,00
	200	-	-	-	-	0,00
	Sub-total	10.337,00	3.393,00	0,00	296,00	14.026,00
Baixa-2	50	2.065,00	-	-	-	2.065,00
	75	106,00	-	-	-	106,00
	100	254,00	-	-	-	254,00
	150	1.572,00	95,00	-	-	1.667,00
	Sub-total	3.997,00	95,00	0,00	0,00	4.092,00
Alta-2	50	732,00	-	-	-	732,00
	75	566,00	-	-	-	566,00
	Sub-total	1.298,00	0,00	0,00	0,00	1.298,00
Total		41.960,00	10.084,00	1.037,00	2.097,00	55.178,00
%		76%	18%	2%	4%	100%

Fonte: HIDRÓPOLIS (1997) e SABESP (2008c).

A grande maioria da rede é simples e está assentada no leito carroçável, existe rede dupla somente no Jardim Parenti II, loteamento residencial localizado na zona baixa 1. A distribuição da rede de água conforme o tipo de assentamento está detalhada na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 Local e tipo de Assentamento da rede de distribuição de água de Itatinga

Local de Assentamento	Tipo	Extensão (m)	%
Leito Carroçável	Simplex	51.615,00	96,00
Calçada	Dupla	3.563,00	4,00
Total		55.178,00	100,00

Fonte: SABESP (2008c) e HIDRÓPOLIS (1997).

Os dispositivos de controle existentes na rede são de bloqueio, instalados em trechos estratégicos da rede ou para separar as zonas de abastecimento e dispositivos para descarga implantados em várias pontas de rede.

O sistema de distribuição de água conta também com duas estações pressurizadoras (EPATs) de água tratada responsáveis por manter uma pressão mínima de 10 mca em toda a rede sob condições de máxima demanda de água.

A EPAT-1 é responsável pelo abastecimento de zona alta-1 e está localizada no Centro de Reserva, utiliza o reservatório R-1 como poço de sucção e apresenta as seguintes características:

- Tipo de bomba: centrífuga de eixo horizontal;
- Marca: KSB
- Modelo: ETA 80 – 33 – 1750 rpm – rotor: 300 mm
- Potência do Motor: 20 cv
- Quantidade: dois conjuntos que se alternam na operação (1 + reserva);

A EPAT-2 está localizada na Rua Benedito Rodrigues de Barros, próximo à confluência com a Rua Augusto Furlaneto, no Núcleo Habitacional Vila Canaã e atende

exclusivamente à zona alta-2; a sucção das bombas é feita diretamente na rede na sub-adutora que atende a zona baixa-2 e apresenta as seguintes características:

- Tipo de bomba: centrífuga de eixo horizontal;
- Marca: ABS
- Modelo: 25160/31 – 3.450 rpm
- Potência do Motor: 3 cv
- Quantidade: dois conjuntos que se alternam na operação (1 + reserva);

6.2.2 Identificação dos usos que é dado a água

Em Itatinga não há grandes consumidores de água e as atividades industriais existentes não utilizam água em seus processos produtivos em quantidade suficiente para serem referidas como grandes consumidores. As várias formas de consumo de água encontradas no sistema de abastecimento de água de Itatinga podem ser assim descritas:

- Uso doméstico:
 - Descargas de bacias sanitárias;
 - Asseio corporal;
 - Cozinha;
 - Bebida;
 - Lavagem de roupas;
 - Rega de jardins e quintais;
 - Limpeza geral;
 - Lavagem de automóveis;
- Uso Comercial:
 - Lojas (sanitários e ar condicionado);
 - Bares e restaurantes (matéria-prima, sanitários e limpeza);
 - Postos e entrepostos (sanitários e limpeza);
- Uso Industrial:
 - Água necessária para as instalações sanitárias, refeitórios etc.;
- Uso Público:
 - Limpeza de logradouros públicos;
 - Irrigação de jardins públicos;
 - Limpeza de redes de esgoto sanitário;
 - Edifícios públicos, escolas e hospital;

- Instalações desportivas;
- Estações ferroviária e rodoviária.

Conforme mostra na Tabela 6.6, o consumo per capita médio de água calculado para 2008 foi de 117,00 L/hab.dia. Segundo Howard e Bartram (2003), um consumo per capita de 100 L/hab.dia, associado ao elevado índice de atendimento com rede de distribuição de água, permite classificar o sistema de abastecimento de água como de acesso ótimo e com baixo risco.

Tabela 6.6 Produção e consumo de água no SAA de Itatinga - 2008.

Mês/Ano	Volume Produzido (m³/mês)	Volume consumido micromedido (m³/mês)	Índice de Perdas (%)	Número de economias	Número de habitantes por domicílio economia	Consumo de água por habitante (L/hab/dia)
jan/08	117.366	63.639	45,78	4803	3,48	122,82
fev/08	115.873	58.087	49,87	4809	3,48	119,69
mar/08	129.682	60.835	53,09	4822	3,48	116,95
abr/08	120.489	60.938	49,42	4828	3,48	120,90
mai/08	125.477	58.290	53,55	4835	3,48	111,75
jun/08	92.740	57.133	38,39	4848	3,48	112,88
jul/08	104.063	57.659	44,59	4865	3,48	109,86
ago/08	109.178	56.629	48,13	4880	3,48	107,57
set/08	96.892	61.080	36,96	4891	3,48	119,62
out/08	106.207	60.799	42,75	4895	3,48	115,13
nov/08	96.887	64.459	33,47	4899	3,48	126,03
dez/08	103.656	63.905	38,35	4903	3,48	120,82
		Média =	44,53		Média =	117,00

Fonte: SABESP (2008a) e SEADE (2004).

Os serviços de saúde realizam atividades básicas e o único hospital existente não possui serviços de hemodiálise. Os casos mais complexos de doenças são encaminhados para o Hospital das Clínicas da UNESP em Botucatu.

A Secretaria de Estado da Saúde semanalmente monitora os casos de doença diarreica aguda e, na Tabela 6.7, para o ano de 2008, eles estão apresentados segundo semana epidemiológica, faixa etária e plano de tratamento.

Tabela 6.7 Casos de diarreia aguda ocorridos em Itatinga em 2008 segundo faixa etária e plano de tratamento.

Semana Epidemiológica	Faixa Etária						Plano de Tratamento			
	< 1	1 a 4	5 a 9	10 +	IGN	Total	A	B	C	Total
01	1	2	1	17	0	21	16	5	0	21
02	0	2	1	12	0	15	11	4	0	15
03	0	2	1	12	0	15	11	4	0	15
04	0	8	6	18	0	32	28	4	0	32
05	3	2	1	12	0	18	11	6	1	18
06	2	6	6	12	0	26	17	9	0	26
07	3	5	1	28	0	19	19	9	0	28
08	1	2	4	17	0	24	17	7	0	24
09	0	5	2	12	0	19	16	3	0	19
10	1	5	1	5	11	23	17	6	0	23
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	6	1	10	0	17	13	4	0	17
13	0	4	3	22	0	29	19	10	0	29
14	0	5	5	15	0	25	21	4	0	25
15	1	6	0	8	0	15	11	4	0	15
16	2	3	1	8	0	14	12	2	0	14
17	1	3	2	2	9	15	12	3	0	15
18	0	1	0	14	0	15	12	3	0	15
19	1	1	0	6	0	8	7	1	0	8
20	1	3	5	4	0	13	11	2	0	13
21	1	2	1	4	0	8	8	0	0	8
22	0	2	2	5	0	9	9	0	0	9
23	1	1	2	5	0	9	8	1	0	9
24	3	3	1	7	0	14	10	4	0	14
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	0	2	2	13	0	17	12	5	0	17
27	0	4	4	32	0	41	32	9	0	41
28	0	8	7	28	0	43	30	13	0	43
29	1	7	5	33	0	46	38	8	0	46
30	1	2	5	22	0	30	27	3	0	30
31	2	10	4	18	0	34	28	6	0	34
32	0	3	2	17	0	22	20	2	0	22
33	0	0	3	20	0	23	21	2	0	23
34	0	2	4	13	0	19	18	1	0	19

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde de Itatinga (2009).

Tabela 6.7 Casos de diarreia aguda ocorridos em Itatinga em 2008 segundo faixa etária e plano de tratamento (continuação).

Semana Epidemiológica	Faixa Etária						Plano de Tratamento			
35	2	2	3	11	0	18	17	1	0	18
36	2	1	2	15	0	20	18	2	0	20
37	0	4	1	16	0	21	2	0	0	21
38	3	1	3	12	0	19	16	3	0	19
39	1	4	3	13	0	21	18	3	0	21
40	3	8	3	16	0	30	25	5	0	30
41	2	10	4	14	0	30	25	5	0	30
42	1	14	7	26	0	48	43	4	1	48
43	0	9	4	26	0	39	35	4	0	39
44	0	4	3	19	0	26	25	1	0	26
45	3	5	2	14	0	24	21	3	0	24
46	1	6	4	11	0	22	19	3	0	22
47	1	3	4	11	0	19	18	1	0	19
48	0	3	1	10	0	14	13	1	0	13
49	3	5	2	10	0	20	17	3	0	20
50	1	7	2	15	0	25	21	4	0	25
51	0	4	4	10	0	18	18	0	0	18
52	0	4	0	12	0	16	13	3	0	16
Total	49	211	136	710	11	1117	923	192	2	1117
Nota: Tipo de tratamento A – Diarreia sem desidratação, paciente atendido com cuidados domiciliares. Tipo de tratamento B – Diarreia com desidratação, paciente em observação na sala de TRO (Terapia de Rehidratação Oral). Tipo de tratamento C – Diarreia com desidratação grave e com rehidratação endovenosa.										

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde de Itatinga (2009).

Durante o ano de 2008 foram observados dois surtos de doenças diarreicas cuja causa estaria relacionada à provável intoxicação alimentar: o primeiro ocorreu entre a 28^a. e 29^a. semana epidemiológica sem gravidade; a maioria dos doentes era adulta (90%), e foi tratada no próprio domicílio com Terapia de Rehidratação Oral. Cerca de 10% dos doentes fez uso de terapia de rehidratação oral e observação na unidade de saúde durante o tratamento. Na 42^a. semana epidemiológica um novo surto associado a alimentos ocorreu no distrito de Lobo, zona rural de Itatinga.

A Figura 6.2 mostra a evolução dos casos de diarreia, por semana epidemiológica, para a população de Itatinga durante o ano de 2008.

Figura 6.2 - Evolução dos casos de diarreia verificados na população do município de Itatinga durante o ano de 2008.

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde de Itatinga (2009).

O nível socioeconômico de Itatinga foi avaliado segundo o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social. A análise das condições de vida de seus habitantes mostra que os responsáveis pelos domicílios auferiam, em média, R\$525,00 - 64,3% ganhavam no máximo três salários mínimos, segundo dados do censo do IBGE de 2000. Esses responsáveis tinham, em média, 4,8 anos de estudo, 22,8% deles completaram o ensino fundamental, e 13,3% eram analfabetos. Em relação aos indicadores demográficos, a idade média dos chefes de domicílios era de 44 anos e aqueles com menos de 30 anos representavam 18,5% do total (SEADE, 2008b).

As mulheres responsáveis pelo domicílio correspondiam a 16,0% e a parcela de crianças com menos de cinco anos equivalia a 10,9% do total da população. As situações de maior ou menor vulnerabilidade às quais a população se encontra exposta, estão resumidas nos seis grupos e áreas que constituem o IPVS, conforme mostra a Tabela 6.8. Na Figura 6.3 é apresentada a comparação desta distribuição por grupos, entre o município de Itatinga e o Estado de São Paulo.

Tabela 6.8 Indicadores que Compõem o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS para o município de Itatinga 2000.

Indicadores	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social					Total
	2 Muito Baixa	3 Baixa	4 Média	5 Alta	6 Muito Alta	
População Total	1.412	649	1.311	8.750	3.300	15.442
Percentual da População	9,1	4,2	8,6	56,7	21,4	100,0
Domicílios Particulares	413	163	341	2.276	834	4.027
Tamanho Médio do domicílio (em pessoas)	3,3	4,0	3,9	3,8	3,9	3,8
Responsáveis pelo Domicílio Alfabetizados (%)	94,2	95,1	89,4	85,3	84,2	86,7
Responsáveis pelo Domicílio com Ensino Fundamental Completo (%)	38,5	37,4	23,2	20,2	19,4	22,8
Anos Médios de Estudo do Responsável pelo Domicílio	6,5	6,2	4,8	4,5	4,4	4,8
Rendimento Nominal Médio do Responsável pelo Domicílio (em reais de julho de 2000)	958,00	529,00	499,00	475,00	455,00	525,00
Responsáveis com Renda de até 3 salários mínimos (%)	42,5	55,8	58,7	68,0	69,1	64,3
Responsáveis com idade entre 10 e 29 anos (%)	8,5	15,3	21,4	18,2	23,9	18,5
Idade Média do Responsável por Domicílio (em anos)	53	41	41	44	42	44
Mulheres responsáveis pelo Domicílio (%)	26,4	15,3	13,2	15,9	12,4	16,0
Crianças de 0 a 4 anos no Total de Residentes (%)	7,4	7,7	12,0	10,9	12,6	10,9
Nota: Em Itatinga não há setores censitários classificados no Grupo 1 – nenhuma vulnerabilidade.						

Fonte: SEADE (2008b).

A seguir é detalhado cada grupo em função dos indicadores utilizados na composição do IPVS:

Grupo 2 (vulnerabilidade muito baixa): 1.412 pessoas (9,1% do total). No espaço ocupado por esses setores censitários, o rendimento nominal médio dos responsáveis pelo domicílio era de R\$958,00 e 42,6% deles auferiam renda de até três salários mínimos. Quanto a escolaridade, os chefes de domicílios apresentavam, em média, 6,5 anos de estudo, 94,2% deles eram alfabetizados e 38,5% completaram o ensino fundamental. Com relação aos indicadores demográficos, a idade média dos responsáveis pelos domicílios era de 53 anos e aqueles com menos de 30 anos representavam 8,5%. As mulheres chefes de domicílios correspondiam a 26,4% e a

parcela de crianças de 0 a 4 anos equivalia a 7,4% do total da população desse grupo (SEADE, 2008b).

Figura 6.3 - Distribuição da População, segundo Grupos do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS – Estado de São Paulo e Município de Itatinga.

Fonte: SEADE (2008b).

Grupo 3 (vulnerabilidade baixa): 649 pessoas (4,2% do total). No espaço ocupado por esses setores censitários, o rendimento nominal médio dos responsáveis pelo domicílio era de R\$529,00 e 55,8% deles auferiam renda de até três salários mínimos. A escolaridade dos chefes de domicílios era, em média, 6,2 anos de estudo, 95,1% deles eram alfabetizados e 37,4% completaram o ensino fundamental. Com relação aos indicadores demográficos, a idade média dos responsáveis pelos domicílios era de 41 anos e aqueles com menos de 30 anos representavam 15,3%. As mulheres chefes de domicílios correspondiam a 15,3% e a parcela de crianças de 0 a 4 anos equivalia a 7,7% do total da população desse grupo (SEADE, 2008b).

Grupo 4 (vulnerabilidade média): 1.331 pessoas (8,6% do total). No espaço ocupado por esses setores censitários, o rendimento nominal médio dos responsáveis pelo domicílio era de R\$499,00 e 58,7% deles auferiam renda de até três salários mínimos. Quanto a escolaridade, os chefes de domicílios, em média, apresentavam 4,8 anos de estudo, 89,4% deles eram alfabetizados e 23,2% completaram o ensino

fundamental. Com relação aos indicadores demográficos, a idade média dos responsáveis pelos domicílios era de 41 anos e aqueles com menos de 30 anos representavam 21,4%. As mulheres chefes de domicílios correspondiam a 13,2% e a parcela de crianças de 0 a 4 anos equivalia a 12,0% do total da população desse grupo (SEADE, 2008b).

Grupo 5 (vulnerabilidade alta): 8.750 pessoas (56,7% do total). No espaço ocupado por esses setores censitários, o rendimento nominal médio dos responsáveis pelo domicílio era de R\$475,00 e 68,0% deles auferiam renda de até três salários mínimos. Quanto a escolaridade, os chefes de domicílios apresentavam, em média, 4,5 anos de estudo, 85,3% deles eram alfabetizados e 20,2% completaram o ensino fundamental. Com relação aos indicadores demográficos, a idade média dos responsáveis pelos domicílios era de 44 anos e aqueles com menos de 30 anos representavam 18,2%. As mulheres chefes de domicílios correspondiam a 15,9% e a parcela de crianças de 0 a 4 anos equivalia a 10,9% do total da população desse grupo.

Grupo 6 (vulnerabilidade muito alta): 3.300 pessoas (21,4% do total). No espaço ocupado por esses setores censitários, o rendimento nominal médio dos responsáveis pelo domicílio era de R\$455,00 e 69,1% deles auferiam renda de até três salários mínimos. Em escolaridade, os chefes de domicílios apresentavam, em média, 4,4 anos de estudo, 84,2% deles eram alfabetizados e 19,4% completaram o ensino fundamental. Com relação aos indicadores demográficos, a idade média dos responsáveis pelos domicílios era de 42 anos e aqueles com menos de 30 anos representavam 23,9%. As mulheres chefes de domicílios correspondiam a 12,4% e a parcela de crianças de 0 a 4 anos equivalia a 12,6% do total da população desse grupo (SEADE, 2008b).

Os dados indicam que essa seja uma comunidade de baixa renda, em que mais de 2/3 da população possui elevada vulnerabilidade social e engloba os setores censitários que possuem as piores condições na dimensão socioeconômica (baixa e muito baixa). Nestes dois grupos foram encontrados chefes de domicílios que apresentavam, em média, os mais baixos níveis de renda e escolaridade. Concentra famílias mais velhas, com menor presença de crianças pequenas ou então, grupos com grande concentração de famílias jovens. A combinação entre chefes jovens, com baixos

níveis de renda e de escolaridade e presença significativa de crianças pequenas, torna este o grupo de maior vulnerabilidade à pobreza (SEADE, 2008b).

A Figura 6.4 mostra o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social aplicado sobre os setores censitários do IBGE. Estes dados foram úteis para identificar e localizar estes usuários no setor de distribuição, além de auxiliar na caracterização da suscetibilidade do consumidor em relação à água contaminada.

6.2.3 Análise do desempenho da rede de distribuição de água

A rede de distribuição de água da cidade de Itatinga é caracterizada pela presença de vários núcleos habitacionais, implantados ao longo dos últimos 30 anos e cujas redes de distribuição foram incorporadas a rede da SABESP, conforme mostra a Figura 6.5.

A análise do desempenho da rede de distribuição de água foi realizada considerando três aspectos: operacional, hidráulico e sanitário. Basicamente foram usadas as fontes de informação disponíveis no serviço de abastecimento de água (SABESP) e da vigilância sanitária – o Quadro 6.1 dá maiores detalhes da utilização de cada fonte segundo o aspecto a ser avaliado.

Quadro 6.1 Fontes de Informação usadas na análise do desempenho do sistema de distribuição de água de Itatinga.

Fonte de Informação	Aspecto		
	Operacional	Sanitário	Hidráulico
Cadastro da rede de distribuição de água e Projetos existentes	Sim	Sim	Sim
Solicitações de Serviços	Sim	Sim	Sim
Relatório de Controle Sanitário da água de consumo humano	Não	Sim	Não
Relatórios da Vigilância da Qualidade da Água para consumo humano	Não	Sim	Não
Relatório sobre Perdas de Água no sistema de abastecimento de água	Não	Não	Sim

SETORES CENSITÁRIOS (IBGE - 2000)
IPVS= 2
IPVS=3
IPVS=4
IPVS=5
IPVS=6

Figura 6.4 - Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) aplicado sobre os setores censitários do IBGE – Itatinga.

Fonte: SEADE (2008b).

Figura 6.5 - Cronologia provável de implantação das redes de distribuição de água existentes na cidade de Itatinga.

Fonte: SABESP (2008c).

6.2.3.1 Aspecto Operacional

Foram utilizadas duas fontes de informação ligadas diretamente à área operacional da SABESP: as Solicitações de Serviços e o Cadastro Técnico da rede de distribuição de água de Itatinga. No Cadastro Técnico foi possível obter informações sobre a configuração das rede e, também, informações sobre: material, diâmetro, localização, idade das tubulações que a compõe. Nas solicitações de Serviços estão descritas a maior parte das atividades realizadas pela SABESP na operação do sistema de saneamento de Itatinga (água e esgoto). Este estudo utilizou o ano de 2008 como período de análise das informações – foram examinadas 5.635 solicitações de serviços (SSs), ou seja 100% das SSs emitidas, das quais 1.176 - 21% do total - estavam relacionadas diretamente ao objeto deste estudo – Tabela 6.9.

Tabela 6.9 Solicitações de Serviços examinadas neste estudo – Itatinga - 2008.

Ítem	Descrição dos Serviços	Qtde	%
1	SS's de interesse para esta pesquisa	1.176	20,87%
2	SS's de outros serviços	4.459	79,13%
TOTAL		5.635	100 %

Fonte: SABESP (2008d).

As solicitações de serviço de interesse neste estudo foram analisadas detalhadamente e agrupadas conforme o tipo de serviço realizado e do interesse desta pesquisa, como mostra a Tabela 6.10.

Tabela 6.10 Serviços de interesse para este estudo.

Ítem	Descrição dos Serviços	Qtde	%
1	Vazamentos na rede de distribuição de água	30	2,55%
2	Reclamações de Falta de Água	29	2,47%
3	Reclamações quanto a qualidade da água ("água suja")	4	0,34%
4	Serviços de geofonamento da rede de distribuição de água	15	1,28%
5	Consertos e reparos nas ligações de água	806	68,54%
6	Remanejamentos da rede de distribuição de água	1	0,09%
7	Descargas na rede de distribuição de água	291	24,74%
TOTAL		1.176	100 %

Fonte: SABESP (2008d).

A análise detalhada das solicitações de serviços, permitiu observar vários procedimentos operacionais:

- descrição dos serviços executados com indicação de hora, data e local dos serviços;
- existência de uma rotina de descargas em pontos estratégicos da rede;
- programa de substituição preventiva de hidrômetros;
- realização de campanhas para detecção de vazamentos através de geofonamento;
- a atenção dada aos clientes na ocorrência de reclamações quanto a desabastecimento e qualidade da água, com tomada de ações e a prestação de esclarecimentos;
- rotina de exames prediais realizadas nas residências;
- cuidado na manutenção de equipamentos e áreas – tais serviços também estavam indicados nas SSs, porém não foram objeto de detalhamento neste estudo.

Entre os tipos de serviços de interesse pode ser observado que 70% das intervenções estavam relacionadas a vazamentos da rede e reparos nas ligações de água. A Tabela 6.11 descreve a distribuição das intervenções na rede e ligações de água realizadas durante o ano de 2008.

Tabela 6.11 Distribuição das intervenções em vazamentos na rede e ligações de água – Itatinga - 2008.

Item	Descrição dos Serviços	Qtde.	%
1	Consertos e reparos nas ligações de água	806	96,41%
2	Vazamentos na rede de distribuição de água	30	3,59%
TOTAL		836	100%

Fonte: SABESP (2008d).

Observa-se que a grande maioria dos reparos ocorreu nas ligações de água. Segundo Landi (1999), Pires et al. (2001) e Rocha et al. (2001) o que é devido, fundamentalmente, ao uso de materiais inadequados nas ligações prediais. Em função destes problemas, a SABESP revisou as especificações técnicas relativas aos materiais usados nas ligações; paulatinamente, tem substituído todas ligações de água.

Esta substituição planejada das ligações não foram considerados como intervenções neste estudo. A Tabela 6.12 apresenta a distribuição das intervenções segundo as zonas de abastecimento.

Tabela 6.12 Distribuição das intervenções segundo as zonas de abastecimento – Itatinga - 2008.

Ítem	Descrição dos Serviços	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2	Total	%
1	Reparos somente no cavalete	312	158	65	13	548	67,99%
2	Reparo somente no ramal	156	76	23	3	258	32,01%
TOTAL		468	234	88	16	806	100%

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

Considerando que o número de ligações ou economias é diferente para as diversas zonas de abastecimento, foi avaliada a taxa de reparos segundo o número de economias – este calculo é apresentado na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 Taxa de reparos nas ligações por economias de água para cada zona de abastecimento – Itatinga - 2008.

Ítem	Descrição dos Serviços	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2	Qtde
		2929	1446	408	120	4903
1	Reparos somente no cavalete	0,107	0,109	0,159	0,108	0,112
2	Reparo somente no ramal	0,053	0,053	0,056	0,025	0,053

A maior taxa de reparo para a zona baixa-2 é devida ao fato de as ligações prediais, assim como a rede de distribuição serem de implantação recente, o que justifica a presença de elevada concentração de problemas nesta área. Tal situação ocorreu, também, nas ligações realizadas a rede de distribuição da Rua Rizzieri Parenti – Vila União – zonas alta-1 e baixa-1. Contudo, esta taxa não se refletiu na Zona Alta-2, cujas ligações foram realizadas sob as mesmas condições. Uma provável explicação para este fato seria a zona alta-2 estar sujeita à menores pressões e, portanto, o material das ligações ser menos solicitado quanto sua resistência interna.

A Tabela 6.14 detalha a distribuição dos vazamentos na rede segundo o tipo de material utilizado e as zonas de abastecimento.

Tabela 6.14 Distribuição dos vazamentos segundo o tipo de material da rede e as zonas de abastecimento – Itatinga - 2008.

Ítem	Material da tubulação da rede	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2	Qtde	%
1	PVC	16	1	3	0	20	66,67%
2	Ferro Fundido	4	3	0	0	7	23,33%
3	Fibro - Cimento	0	0	0	0	0	0,00%
4	Ferro Galvanizado	3	0	0	0	3	10,00%
TOTAL		23	4	3	0	30	100,00%

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

Apesar da Tabela 6.14 indicar que existe um predomínio dos vazamentos nas tubulações de PVC deve ser considerado, também, que há maior extensão de tubulações de PVC implantados em relação às demais. Assim, ao considerar o número de vazamentos para cada 1.000 metros de rede implantadas e relacioná-las às zonas de abastecimento foi possível construir a Tabela 6.15.

Tabela 6.15 Número de vazamentos segundo o tipo de material da rede por 1.000 metros de rede existente – Itatinga - 2008.

Ítem	Material da tubulação da rede	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2
1	PVC	0,61	0,10	0,75	0,00
2	Ferro Fundido	0,61	0,88	0,00	0,00
3	Fibro - Cimento	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Ferro Galvanizado	1,67	0,00	0,00	0,00

Apesar de a quantidade de vazamentos ser maior na rede de PVC, ao considerar a quantidade de rede existente de cada material, as tubulações de ferro galvanizado apresentam valores de vazamentos superiores aos demais tipos de materiais, o que é devido a idade e ao próprio material - menos resistente às condições adversas, quando

comparado aos demais. A Figura 6.6 mostra a localização desses vazamentos na rede de distribuição de água existente.

Figura 6.6 - Localização dos vazamentos na rede de distribuição de água de Itatinga em 2008.

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

Os vazamentos na rede foram avaliados, também, segundo o diâmetro das tubulações em que ocorreram os vazamentos como mostra a Tabela 6.16.

Tabela 6.16 Vazamentos segundo a zona de abastecimento e o diâmetro das tubulações.

Ítem	Diâmetro da tubulação da rede	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2	Qtde	%
1	< 50 mm	1	0	0	0	1	3,33%
2	50 mm	15	2	1	0	18	60,00%
3	75 mm	2	1	2	0	5	16,67%
4	100 mm	5	1	0	0	6	20,00%
TOTAL		23	4	3	0	30	100,00%

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

Da forma similar a Tabela 6.16 foi elaborado a Tabela 6.17 que avalia vazamentos em relação à extensão das tubulações existentes na rede para conhecido diâmetro.

Tabela 6.17 Número de vazamentos segundo o diâmetro da rede por 1.000 metros de rede existente – Itatinga - 2008.

Ítem	Diâmetro da tubulação da rede	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2	Qtde
1	< 50 mm	0,51	0,00	0	0	1
2	50 mm	0,62	0,21	0,48	0	1
3	75 mm	0,40	0,41	18,87	0	20
4	100 mm	1,94	1,43	0	0	3

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

A análise da Tabela 6.17 permitiu inferir que redes com diâmetros de 50 e 100 mm são mais suscetíveis a vazamentos. Tal afirmação corrobora os estudos de Cooper

et al (2004) e Kienne et al. (1998), os quais reportam que tubulações de diâmetros superiores a 300 mm são menos suscetíveis à falhas quando comparadas a tubulações de menor diâmetro. Contudo, a série histórica de dados utilizada é pequena, assim como o número de eventos informados, para ser possível afirmar qual diâmetro ou material é mais suscetível a vazamentos. Vale ainda observar que dos 5 vazamentos relatados na zona baixa-1, 3 deles ocorreram no mesmo trecho de rede, na Avenida Nossa Senhora de Fátima entre as ruas São Francisco e José di Piero. A rede de diâmetro de 100 mm e ferro fundido ali implantada, além de apresentar idade avançada, possui junta de chumbo, fatos que evidenciam que os problemas de vazamentos nessa tubulação são localizados e estão diretamente ligados ao material e idade da rede de distribuição.

Outro serviço realizado rotineiramente pela operadora são as descargas na rede de distribuição de água. Essas descargas têm como objetivo retirar sujidades que são incorporadas à rede, fruto da corrosão nas tubulações metálicas, formação de biofilmes, material que penetra na rede durante operações de manutenção etc. Os pontos de descargas na rede estão indicados na Figura 6.7 e a periodicidade destas operações são mostradas na Tabela 6.18.

As operações de descarga são concentradas principalmente na rede da zona baixa-1 e são justificadas pela grande quantidade de tubulações metálicas (ferro fundido e ferro galvanizado) ali presentes – tubulações de idade avançada e de fácil corrosão, suscetíveis a maior número de operações de reparo de vazamentos. Segundo AWWA (1992) a elevada frequência com que estas operações são realizadas é um indicativo de áreas que apresentam problemas em relação a qualidade da água. O volume de água eliminado nestas operações de descargas é considerado como perdas de água e, portanto, influenciam o índice de perdas de todo o sistema.

6.2.3.2 Aspecto Hidráulico

Para análise do desempenho da rede de distribuição sob o aspecto hidráulico foram utilizadas informações originadas do Cadastro Técnico da rede de distribuição de água de Itatinga (SABESP, 2008c) e do Relatório sobre Perdas de Água (SABESP, 2008e).

O exame do Cadastro Técnico permitiu obter a configuração das redes e informações sobre a topografia local - diâmetro, material, comprimento das tubulações.

Figura 6.7 - Localização dos pontos de descarga da rede de distribuição de água de Itatinga em 2008.

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

Tabela 6.18 Descargas em pontos da rede de distribuição de água de Itatinga realizadas durante o ano de 2008.

No. da descarga	Local do serviço	jan-08	fev-08	mar-08	abr-08	mai-08	jun-08	jul-08	ago-08	set-08	out-08	nov-08	dez-08	Total
desc-1	Rua Antonio Salvador, 225 - NH Vila Canaã	não informado	não informado	1										1
desc-2	Rua Eulides Moraes Rosa, 40 - Jardim Parenti I	não informado	não informado	2	5	4	4	5	4	4	5	4	5	42
desc-3	Rua Manoel Carlos Panão, 249 - Chácara Horizonte	não informado	não informado	2	5	4	4	5	3	4	5	3	5	40
desc-4	Rua Padre Pio Palacios, 305 - Vila Prete	não informado	não informado	2	5	4	4	5	4	4	5	4	5	42
desc-5	Rua São Francisco, 344	não informado	não informado	2	5	4	3	5	5	4	5	4	5	42
desc-6	Rua Luiz Salvador, 98 - Residencial Nunes	não informado	não informado	2	5	4	4	3	5	4	5	4	5	41
desc-7	Rua Doutor Victor Tieghi, 96 - Vila São Domingos	não informado	não informado	2	6	3	5	3	5	4	4	4	5	41
desc-8	Rua Rizzieri Parenti, 700 - Vila União	não informado	não informado	1										1
desc-9	Travessa José Antonio Linheira, 112	não informado	não informado	1	5	4	4					1		15
desc-10	Rua Benedito da Silva, 112 - Jardim Presépio da Serra	não informado	não informado					5	5	3	4	3	5	25
desc-11	Rua Tereza Franzolin Chinea, 46 - Residencial Nunes	não informado	não informado							1				1
Total		0	0	15	36	27	28	31	31	28	33	27	35	291

Fonte: SABESP (2008d).

Também foi possível calcular o índice de perdas do sistema para 2008, segundo a fórmula indicada na equação 5.1 que, neste caso, variou entre 33% a 53% com média de 39,71%, - para Marcka, (2004), Cornejo et al. (1999) e Tardelli (2004) estes valores são considerados elevados. No caso específico do sistema de Itatinga há forte indícios que o elevado índice de perdas esteja relacionado à grande quantidade de problemas de intervenções nos ramais e cavaletes das ligações, idade da rede e à elevada frequência de descargas na rede.

Ainda não há estudos a respeito do volume disponibilizado nas operações de descargas.

Através de modelagem matemática foi simulada a condição de consumo máximo que ocorreu durante o ano de 2008. Esta simulação foi realizada para verificar o comportamento da rede de distribuição de água frente às demandas requeridas pelos consumidores. Neste caso foram utilizados os seguintes critérios:

- No cálculo hidráulico das redes foi utilizado o programa computacional EPANET conforme já descrito na metodologia;
- Os coeficientes de rugosidade absoluta (ϵ) adotados foram:
 - o PVC - $\epsilon = 0,06$ mm
 - o Ferro Fundido - $\epsilon = 0,3$ mm
 - o Ferro Galvanizado - $\epsilon = 0,5$ mm
 - o Fibro-cimento - $\epsilon = 0,1$ mm
- Uso-se o consumo por economia de 745,65 L/economia.dia, valor médio anual que levou em consideração as perdas no sistema e foi calculado a partir dos dados indicados na Tabela 6.6. Desta forma foi buscado avaliar a rede de distribuição para uma situação ideal em que as perdas de água foram distribuídas por toda a rede.

A Figura 6.8 mostra a localização das zonas de abastecimento de água, no Adendo A é mostrado o esquema hidráulico da rede de distribuição de água e no Adendo B os resultados das simulações cuja análise possibilitou obter informações sobre o comportamento hidráulico – pressões, velocidade e vazões - de cada trecho da rede de distribuição de água.

Figura 6.8 - Localização das zonas de abastecimento de água de Itatinga em 2008.
Fonte: SABESP (2008c), HIDRÓPOLIS (1997).

O Quadro 6.2 apresenta um resumo das principais observações obtidas desta simulação, segundo as zonas de abastecimento.

Quadro 6.2 Comportamento hidráulico observado na RDA de Itatinga.

Zona de abastecimento	Comportamento Hidráulico
Zona Baixa – 1	<ul style="list-style-type: none"> – Trechos com pressão dinâmica mínima inferior a 10 mca – pressão mínima prevista na norma NBR 12.218 (ABNT, 1994b). Estes trechos geralmente localizados próximos ao limite das zonas de abastecimento Alta-1 e Baixa-1; – Trechos com velocidades acima das descritas no Quadro 4.34, e altas perdas de carga que, por sua vez comprometem o abastecimento de água e justificam o aparecimento de locais com baixa pressão e reclamações de falta de água associadas. A excessiva velocidade também provoca o desprendimento de biofilmes, incrustações e tubérculos que normalmente se encontram aderidos a rede. O descolamento deste material aderido produz efeitos deletérios sobre a qualidade da água: aumento da turbidez, perda do residual de cloro, presença de coliformes e grande quantidade de bactérias heterotróficas. – Presença de pontas de rede isoladas (“pontas mortas”), locais em que há elevada probabilidade de acúmulo de sujidades. Esta afirmação é corroborada pela análise detalhada dos locais onde ocorreram reclamações de consumidores quanto a qualidade da água, vide Figura – 6.11; todas as reclamações procedem de áreas atendidas por trechos de rede onde há “pontas mortas”.
Zona Alta-1	<ul style="list-style-type: none"> – Presença de pontas de rede isoladas (“pontas mortas”).
Zona Baixa – 2	<ul style="list-style-type: none"> – Presença de pontas de rede isoladas (“pontas mortas”).
Zona Alta-2	<ul style="list-style-type: none"> – Presença de pontas de rede isoladas (“pontas mortas”). – Ausência de reservatório para manter a pressão constante em situações em que há falta de energia elétrica para a operação da estação pressurizadora. Há possibilidade de ocorrência de pressões negativas nas áreas mais altas, quando ocorre falta de energia elétrica para a operação da estação pressurizadora.

As reclamações dos consumidores quanto à falta de água também foram objeto de análise feita a partir da elaboração da Tabela 6.19 que indica em que zona de abastecimento elas ocorreram.

Tabela 6.19 Reclamações sobre falta de água – Itatinga – 2008.

Ítem	Zona de Abastecimento	Qtde	%
1	Zona Baixa -1	20	68,97%
2	Zona Alta -1	5	17,24%
3	Zona Baixa -2	4	13,79%
4	Zona Alta - 2	0	0,00%
TOTAL		29	100,00%

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

A Tabela 6.20 mostra a causa informada pela SABESP para o problema de desabastecimento.

Tabela 6.20 Causa informada pela SABESP para a falta de água – Itatinga – 2008.

Ítem	Causa informada	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2	Qtde	%
1	Problemas na ligação (ramal ou cavalete)	5	4	1	0	10	34,48%
2	Baixa Pressão	2	0	0	0	2	6,90%
3	Registro fechado	4	0	0	0	4	13,79%
4	Problema interno	3	0	0	0	3	10,34%
5	Nenhum problema detectado (água normal)	6	1	3	0	10	34,48%
TOTAL		20	5	4	0	29	100,00%

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

Os locais onde foram informados os problemas de falta de água foram mapeados e estão indicados na Figura 6.9.

Figura 6.9 - Localização dos imóveis onde foram feitas reclamações quanto a falta de água em Itatinga em 2008.

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

Foi possível observar que os problemas decorrentes do uso de materiais inadequados nas ligações domiciliares trazem transtornos ao consumidor como falta de água. Contudo, duas causas informadas são de maior relevância neste estudo: baixa pressão – que pode levar a situações de intrusão de contaminantes microbiológicos na rede - pontos F-2 e F-21 da Figura 6.8 - e “nenhum problema detectado” - F-1, F-4, F-7, F-9, F-17, F-18, F-14, F-22, F-26 e F-28 da mesma figura - que pode representar uma situação em que não há uma causa aparente para o problema.

Pode ser observado que entre os locais onde há falta de água, existem vários pontos: F-3, F-4, F-12, F-14, F-25, F-22, F-27 e F-28 todos localizados nas zonas baixas 1 e 2 e próximos aos limite com as zonas altas. Nestes locais geralmente ocorrem as menores pressões dentro das zonas de abastecimento e, portanto, são pontos suscetíveis à baixas pressões e falta de água. Este fato foi verificado quando foi efetuada a simulação hidráulica da rede de distribuição através do programa computacional EPANET. Os trechos de rede próximos a divisa entre as zonas de abastecimento baixa-1 e alta-1, principalmente aqueles localizados na Rua Antonio Francisco da Silva entre as Ruas Pernambuco e São Francisco, apresentavam baixas pressões.

A Tabela 6.21 mostra que material compõe a rede onde ocorrem falta de água e a Tabela 6.22 o diâmetro desta rede.

Tabela 6.21 Material da rede em que ocorre falta de água – Itatinga – 2008.

Ítem	Material da tubulação da rede	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2	Qtde	%
1	PVC	11	5	4	0	20	68,97%
2	Ferro Fundido	7	0	0	0	7	24,14%
3	Fibro - Cimento	0	0	0	0	0	0,00%
4	Ferro Galvanizado	2	0	0	0	2	6,90%
TOTAL		20	5	4	0	29	100,00%

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

Tabela 6.22 Diâmetro da rede em que ocorre falta de água – Itatinga – 2008.

Ítem	Diâmetro da tubulação da rede	Zona Baixa -1	Zona Alta -1	Zona Baixa -2	Zona Alta - 2	Qtde	%
1	25 mm	2	0	0	0	2	6,90%
2	50 mm	11	5	4	0	20	68,97%
3	75 mm	7	0	0	0	7	24,14%
4	100 mm	0	0	0	0	0	0,00%
TOTAL		20	5	4	0	29	100,00%

Fonte: SABESP (2008c) e SABESP (2008d).

6.2.3.3 Aspecto Sanitário

As informações utilizadas neste item foram obtidas basicamente de SABESP, (2008d), SABESP (2008f) e São Paulo (2008).

Inicialmente foi verificado se a unidade de tratamento tinha capacidade de produzir consistentemente água que atendesse aos padrões de potabilidade prescritos em Brasil (2004).

O monitoramento operacional realizado pela SABESP através da Divisão de Controle Sanitário e Ambiental mostra que a unidade de tratamento consegue produzir água com valores de turbidez, coliformes, *E. coli* e cloro residual que atendem aos padrões de potabilidade (BRASIL, 2004). Segundo SABESP (2008f), no período de 01/01/2008 a 31/12/2008 a ETA produziu água com as seguintes características:

- Turbidez da água final: ≤ 1 UNT;
- Coliformes totais e *E. coli*: ausentes em 100 mL de 100% das amostras coletadas
- Cloro Residual Livre: $\geq 1,0$ mg/L em $\text{pH} \leq 8,4$
- Cor aparente: ≤ 9 uH
- Bactérias Heterotróficas: ≤ 25 UFC/ mL

A Tabela 6.23 compara o número de amostras coletadas na saída do tratamento necessárias para atender à Portaria no. 518, de 25 de março de 2004 e a quantidade de amostras coletadas pela SABESP em 2008.

Tabela 6.23 Número de amostras prescritas na legislação sanitária e amostras analisadas pela SABESP na saída da ETA para 2008.

Parâmetro	Portaria 518	SABESP
Cor	12	110
Turbidez	12	110
pH	12	112
Cloro Residual Livre	12	112
Coliformes	96	112

Fonte: SABESP (2008) e Brasil (2004).

A quantidade de amostras coletadas pela SABESP atende às prescrições da legislação sanitária vigente (BRASIL, 2004).

Para a rede de distribuição de água a quantidade de amostras coletadas e prescritas na legislação sanitária é mostrada na Tabela 6.24.

A quantidade de amostras coletadas pela SABESP atende a quantidade de amostras prescritas na legislação sanitária vigente.

A Figura 6.10 mostra a localização dos pontos de coleta das amostras de água na rede de distribuição de água de Itatinga.

Tabela 6.24 Número de amostras prescritas na legislação sanitária e amostras analisadas pela SABESP na rede de distribuição de água para Itatinga - 2008.

Parâmetro	Portaria 518	SABESP
Cor	120	124
Turbidez	120	124
pH	120	124
Cloro Residual Livre	312	329
Coliformes	312	329

Fonte: SABESP (2008f) e Brasil (2004).

Figura 6.10 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água na rede de distribuição de Itatinga em 2008.

Fonte: SABESP (2008c); São Paulo (2008) e SABESP (2008f).

A distribuição dos pontos de coleta é uniforme, cobre proporcionalmente todas as zonas de abastecimento conforme mostra a Tabela 6.25. Os pontos de coleta foram estrategicamente escolhidos: primeiro consumidor; proximidade com unidades de saúde, creches, escolas e pontos mais distantes da rede. Contudo, não foram previstas as coletas em pontas da rede (“pontas mortas”), locais onde normalmente há depósito de material carregado na rede e que implica consumo do cloro residual livre e maior turbidez.

Tabela 6.25 Distribuição dos pontos de coleta – SABESP - segundo zonas de abastecimento – Itatinga - 2008.

Zona de Abastecimento	Quantidade de pontos de coleta	%
Baixa – 1	21	68
Alta – 1	6	19
Baixa – 2	3	10
Alta – 2	1	3
Total	31	100

Fonte: SABESP (2008f).

A Tabela 6.26 detalha os pontos de coleta na rede de distribuição de água de Itatinga e os resultados dos exames para Coliformes totais e *E. coli*. Não foi observada presença de Coliformes totais e *E. coli* em 100% das amostras coletadas.

A Tabela 6.27 detalha na rede de distribuição de água de Itatinga, os pontos de coleta de amostras de água para análises de monitoramento para turbidez. Os resultados dos exames para Turbidez indicam que em duas amostras a Turbidez ultrapassou o limite de 5 UNT prescrito no Padrão de Potabilidade. Apesar da grande quantidade de tubulações de ferro fundido e ferro galvanizado com mais de 40 anos, as descargas na rede têm sido eficazes em manter a turbidez em conformidade com as prescrições do Padrão de Potabilidade.

As Tabelas 6.28 e 6.29 apresentam os pontos de coleta de amostras de água para Residual de Cloro Livre e pH, respectivamente. Foi observada a presença de apenas uma amostra durante 2008 com ausência de residual de cloro livre.

Tabela 6.26 Resultado dos exames bacteriológicos para Coliformes totais e E. coli. – SABESP – Itatinga – 2008.

Código SABESP	Local dos Pontos de Coleta	zona de abastecimento	Coliformes totais e C. termotolerantes - E. coli											
			jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08
052-RE-001	Rua Prefeito Raul Franzolin, 61 - São Domingos	ALTA - 1	*ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência	Ausência	
052-RE-002	Rua Manoel Linhiern, 206 - Nova Itatinga	ALTA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência	Ausência			
052-RE-003	Rua Pedro de Toledo, 1176	ALTA - 1	ausência	ausência	*Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência		Ausência			
052-RE-005	Rua Allan Kardec - Escola Vila Pretti	BAIXA - 1		ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência
052-RE-006	Avenida MMDCA, 248	BAIXA - 1		ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência		Ausência	Ausência		*Ausência
052-RE-007	Rua São José, 131	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência		Ausência	Ausência	Ausência
052-RE-008	Rua Antonio Francisco Silva, 16	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	**Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência	Ausência
052-RE-009	Rua Guernio Biazon, 1122	BAIXA - 1	ausência	ausência		Ausência	Ausência	*Ausência	*Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	**Ausência
052-RE-010	Rua Manno Felix, 162	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência	Ausência	**Ausência
052-RE-011	Rua São Sebastião, 362	BAIXA - 1	ausência		Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	**Ausência		*Ausência	Ausência
052-RE-012	Rua Abílio Francisco da Silva, 16	BAIXA - 1	ausência		*Ausência		Ausência	Ausência	Ausência		*Ausência	*Ausência	*Ausência	Ausência
052-RE-013	Rua Otavio P. de Almeida, 53	ALTA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência		Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
052-RE-014	Rua Benedito Strongel, 1115 - Jardim Parenti	BAIXA - 1	*ausência		Ausência	Ausência		Ausência			*Ausência	Ausência		Ausência
052-RE-015	Rua Nove de Julho, 686	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência
052-RE-016	Rua Antonio Francisco Silva, 455	BAIXA - 1	ausência	ausência		*Ausência	Ausência	Ausência		Ausência	Ausência	Ausência		
052-RE-017	Rua José Ventura Júnior, 55	BAIXA - 1	ausência	ausência		Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência		Ausência	
052-RE-018	Rua São Vicente, 1035	BAIXA - 1	ausência	ausência	*Ausência	Ausência	Ausência				*Ausência	Ausência	Ausência	
052-RE-020	Rua Antonio Prette, 128 - Vila Prette	BAIXA - 1	ausência	*ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência	Ausência		
052-RE-021	Rua Tereza F. Chainea, 46 - Residencial Nunes	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	Ausência		
052-RE-022	Rua Iris Ceranto, 75 - Residencial Nunes	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	**Ausência	Ausência	*Ausência
052-RE-023	Creche do Jardim Parenti	BAIXA - 1	ausência	*ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência		Ausência	Ausência	Ausência
052-RE-024	Avenida São Bernardo, 461 - Escola Jardim Parenti II	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
052-RE-025	Rua João Slein, 141 - Vila Canaã	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência		*Ausência	*Ausência	*Ausência
052-RE-026	Rua Antonio C. Oliveira, 101 - Vila Canaã	ALTA - 2	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	*Ausência	Ausência
052-RE-027	Rua Antonio Salvador, 770 Vila Canaã	BAIXA - 2	*ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência			
052-RE-028	Rua Arthur Bronzatto Sobrinho, 88 - Jardim Presépio da Serra	ALTA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	**Ausência		*Ausência		Ausência
052-RE-029	Rua Mathheus Dias, 151 - CDHU Mario Covas	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência		*Ausência	Ausência
052-RE-030	Rua Brasília Paes de Almeida, 106 - Vila Nova América	BAIXA - 1	ausência	ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	*Ausência	*Ausência	Ausência

Nota: os pontos com asterisco indicam que foram realizadas dois (*) ou três (**) exames no mesmo local durante o mês.

Fonte: SABESP (2008f).

Tabela 6.27 Resultado das análises Físico – Química para Turbidez – SABESP – Itatinga – 2008.

Código SABESP	Local dos Pontos de Coleta	zona de abastecimento	Turbidez											
			jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08
052-RE-001	Rua Prefeito Raul Francoim, 61 - São Domingos	ALTA - 1	0,15	0,7		0,15	0,3			0,6	0,3	0,5		
052-RE-002	Rua Manoel Linhiera, 206 - Nova Itatinga	ALTA - 1	0,2		0,3	0,2			0,65					
052-RE-003	Rua Pedro de Toledo, 1176	ALTA - 1		0,3						0,6				
052-RE-005	Rua Allan Kardec - Escola Vila Pretti	BAIXA - 1		0,6	0,25	0,25		0,55		0,95	1,3		0,75	
052-RE-006	Avenida MMDCA, 248	BAIXA - 1					0,45							0,4 / 0,35
052-RE-007	Rua São José, 131	BAIXA - 1	0,5			0,35	0,4	0,5				0,8		0,6
052-RE-008	Rua Antonio Francisco Silva, 16	BAIXA - 1	0,35				0,45		0,95		0,45	0,85		
052-RE-009	Rua Guernio Biazon, 1122	BAIXA - 1	0,25				0,85	0,55	0,2		0,55	0,55	0,7	
052-RE-010	Rua Marinho Félix, 162	BAIXA - 1				0,5					0,6			0,5
052-RE-011	Rua São Sebastião, 362	BAIXA - 1		1							0,65			0,45
052-RE-012	Rua Abílio Francisco da Silva, 16	BAIXA - 1	0,2		0,25			0,4					0,4 / 0,65	
052-RE-013	Rua Otavio P. de Almeida, 53	ALTA - 1		0,5	0,15					0,2	0,4		0,35	0,45
052-RE-014	Rua Benedito Stergel, 115 - Jardim Parenti	BAIXA - 1			0,49	0,3					0,25	0,5		
052-RE-015	Rua Nove de Julho, 686	BAIXA - 1		0,15	0,31					0,35				0,6 / 0,35
052-RE-016	Rua Antonio Francisco Silva, 455	BAIXA - 1					12							
052-RE-017	Rua José Ventura Junior, 55	BAIXA - 1				0,1								
052-RE-018	Rua São Vicente, 1035	BAIXA - 1		0,25	0,25				0,7					
052-RE-020	Rua Antonio Prette, 128 - Vila Prette	BAIXA - 1	0,6					0,55	0,6					
052-RE-021	Rua Tereza F. Chimnea, 46 - Residencial Nunes	BAIXA - 1				0,2		0,2			7,2	0,95		
052-RE-022	Rua Ins Ceranto, 75 - Residencial Nunes	BAIXA - 1				0,2	0,75					0,45 / 0,65		
052-RE-023	Creche do Jardim Parenti	BAIXA - 1	0,2	0,2	0,35 / 0,15		0,95	0,75	0,5	0,55		0,85	0,4	
052-RE-024	Avenida São Bernardo, 461 - Escola Jardim Parenti II	BAIXA - 1											0,55	0,45
052-RE-025	Rua João Sliem, 141 - Vila Canaã	BAIXA - 1		0,65		0,9						0,65		0,45
052-RE-026	Rua Antonio C. Oliveira, 101 - Vila Canaã	ALTA - 2		0,35				0,6						0,45
052-RE-027	Rua Antonio Salvador, 770 Vila Canaã	BAIXA - 2	0,3		0,15				0,7	0,15	0,55			
052-RE-028	Rua Arthur Bronzatto Sobrinho, 88 - Jardim Presépio da Serra	ALTA - 1	1,2						0,5	0,85 / 0,85 / 0,55		0,6 / 0,45		
052-RE-029	Rua Mathieu Dias, 151 - CDHU Mario Covas	BAIXA - 1			0,2		0,45						0,45 / 0,70	
052-RE-030	Rua Brasílio Pais de Almeida, 106 - Via Nova America	BAIXA - 1			0,4			0,5			0,3	0,25	0,65 / 0,75	

Fonte: Sabesp (2008f).

Tabela 6.28 Resultado das análises Físico – Química para Cloro Residual Livre – SABESP – Itatinga – 2008.

Código SABESP	Local dos Pontos de Coleta	zona de abastecimento	Cloro Residual Livre (mg/L)											
			jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08
052-RE-001	Rua Prefeito Raul Francolin, 61 - São Domingos	ALTA - 1	1,17 / 1,23	1,10	0,95	0,95	1,32	1,59	1,60	2,00	1,55 / 1,73	1,65 / 1,65	0,93	
052-RE-002	Rua Manoel Linhiera, 206 - Nova Itatinga	ALTA - 1	1,15	0,89	1,18	0,87	0,85	1,25	2,05	1,38	1,41			
052-RE-003	Rua Pedro de Toledo, 1176	ALTA - 1	0,86	0,90	1,04 / 0,89	1,74	1,50	1,35			1,61			
052-RE-005	Rua Allan Kardec - Escola Vila Pretti	BAIXA - 1		1,16 / 0,80	1,10	0,92	1,03	1,08	2,00	2,12	1,81 / 1,88	1,51	1,23 / 0,63	0,75
052-RE-006	Avenida MMDCA, 248	BAIXA - 1									1,88	1,69		1,20 / 1,50
052-RE-007	Rua São José, 131	BAIXA - 1	0,67	0,68	0,87	1,12	1,01	1,31	1,78	1,60		1,4 / 1,04	0,72	0,60
052-RE-008	Rua Antonio Francisco Silva, 16	BAIXA - 1	1,30	0,75	1,05	1,18	0,99	1,80	1,95	1,89 / 1,78 / 1,94	1,84	1,53	0,91	0,90
052-RE-009	Rua Guernio Biazon, 1122	BAIXA - 1	1,11	0,89		0,90	1,29	1,45 / 1,92	2,20	1,51	1,83	1,67	1,45 / 1,00	1,17 / 0,80 / 1,25 / 1,60
052-RE-010	Rua Manoel Félix, 162	BAIXA - 1	0,94	1,13	0,93	0,86	1,05	1,41	1,37 / 2,02 / 1,62	1,87	1,38 / 1,20	1,56	0,63	1,15 / 0,76
052-RE-011	Rua São Sebastião, 362	BAIXA - 1	0,31	0,00	0,72	0,85	1,18	1,69	2,00	2,00	1,56 / 1,50 / 1,55		0,71	0,81
052-RE-012	Rua Abilio Francisco da Silva, 16	BAIXA - 1	1,73		1,05 / 1,35		1,49	1,15	2,07		1,55 / 1,76	1,63 / 1,70	1,41 / 0,80 / 0,99	1,25
052-RE-013	Rua Otavio P. de Almeida, 53	ALTA - 1	0,87	1,67	1,05		1,22	1,68	2,31	1,68	1,30	1,69	1,2 / 1,00	0,95
052-RE-014	Rua Benedito Stengel, 115 - Jardim Parenti	BAIXA - 1	1,50		1,00	1,15	1,49	1,95	1,45 / 1,97		1,38 / 1,64	1,64		0,90
052-RE-015	Rua Nove de Julho, 686	BAIXA - 1	1,25	0,70	0,85	1,04	1,09	1,27	1,86	1,51	1,46	1,43	0,64	1,20 / 1,15
052-RE-016	Rua Antonio Francisco Silva, 455	BAIXA - 1	1,05	1,16		1,47 / 0,86	0,99		2,09	1,95	1,66	1,90		
052-RE-017	Rua José Ventura Junior, 55	BAIXA - 1	0,93	0,88		0,90	1,53	1,48	1,99	1,86	1,25 / 1,45		1,33	
052-RE-018	Rua São Vicente, 1035	BAIXA - 1	0,91	1,18	0,98 / 1,30	1,28	1,20		2,20		1,82 / 1,61	1,82	0,96	
052-RE-020	Rua Antonio Prette, 128 - Vila Prette	BAIXA - 1	1,24	1 / 0,60	1,44	0,95	1,54	1,54	1,40	1,40	1,16	1,30		
052-RE-021	Rua Terza F. Chirinea, 46 - Residencial Nunes	BAIXA - 1	0,21	0,83	1,26	1,07	1,04	1,78	2,06	2,18 / 2,10	1,27 / 1,66	1,27		
052-RE-022	Rua Iris Ceranto, 75 - Residencial Nunes	BAIXA - 1	1,53		1,05	1,27	0,73	1,45	1,54			1,48 / 1,77 / 1,20	0,60	0,80 / 1,20
052-RE-023	Creche do Jardim Parenti	BAIXA - 1	1,26	1,04 / 0,80	1,89 / 1,35	1,10	1,34	1,28	1,65 / 2,21	1,70	2,20	1,38	0,83	1,45
052-RE-024	Avenida São Bernardo, 461 - Escola Jardim Parenti II	BAIXA - 1	1,77	0,65	0,99	0,70	1,18	1,60	2,00	1,80			1,20	1,40
052-RE-025	Rua João Sibim, 141 - Vila Canaã	BAIXA - 1	1,58	1,06 / 1,09	0,87	0,65	1,15	1,84	1,69	2,33 / 1,21		1,88 / 1,52		1,00 / 1,58
052-RE-026	Rua Antonio C. Oliveira, 101 - Vila Canaã	ALTA - 2	0,73	1,70	1,23	1,40	1,49	1,90	2,42	1,57	1,86	1,87 / 1,74	0,92 / 1,10	1,13 / 1,11
052-RE-027	Rua Antonio Salvador, 77 0 Vila Canaã	BAIXA - 2	0,73	1,15	1,24	0,88	0,78	1,97	2,35	1,48	1,88			
052-RE-028	Rua Arthur Bronzatto Sobrinho, 88 - Jardim Presépio da Serra	ALTA - 1	0,90	1,00	1,40	1,20		1,35	2,22	2,15 / 1,79 / 1,30		1,71 / 1,62		0,95
052-RE-029	Rua Mathheus Dias, 151 - CDHU Mano Covas	BAIXA - 1	1,01	0,91	1,01	1,25	1,05	1,45	2,27	2,00			1,35 / 0,92	1,10
052-RE-030	Rua Brasília Paes de Almeida, 106 - Vila Nova America	BAIXA - 1	1,45	0,54	1,09	0,62	1,44	1,49	1,42	1,65	1,65	1,6 / 1,24	0,8 / 0,50	0,75

Fonte: SABESP (2008f).

Tabela 6.29 Resultado das análises Físico – Química para pH – SABESP – Itatinga – 2008.

Código SABESP	Local dos Pontos de Coleta	zona de alastecimento	pH											
			jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08
052-RE-001	Rua Prefeito Raul Francolin, 61 - São Domingos	ALTA - 1	7,30	7,32		7,97	7,77			7,65	7,27	8,00 / 7,69		
052-RE-002	Rua Manoel Linhiera, 206 - Nova Itatinga	ALTA - 1	7,42		7,31	7,82	8,35		7,14	7,69				
052-RE-003	Rua Pedro de Toledo, 1176	ALTA - 1		7,39			7,94							
052-RE-005	Rua Allan Kardec - Escola Vila Pretti	BAIXA - 1		7,35	7,38	8,00	8,20	7,38		7,38	7,37		7,52	
052-RE-006	Avenida MNDCA, 248	BAIXA - 1					8,20 / 7,38							7,20 / 7,30
052-RE-007	Rua São José, 131	BAIXA - 1	7,97			7,95		7,68		8,00		8,00	7,60	7,23
052-RE-008	Rua Antonio Francisco Silva, 16	BAIXA - 1	7,87				7,64		7,33	7,91	7,29	7,98		
052-RE-009	Rua Guetino Biazon, 1122	BAIXA - 1					7,38	6,69	7,18		7,25	8,13	7,62	
052-RE-010	Rua Marinho Felix, 162	BAIXA - 1				7,96					7,54			7,28
052-RE-011	Rua São Sebastião, 362	BAIXA - 1		7,30							7,27			7,25
052-RE-012	Rua Abilio Francisco da Silva, 16	BAIXA - 1	7,00		7,97			6,63					7,60 / 7,33	
052-RE-013	Rua Otavio P. de Almeida, 53	ALTA - 1		7,13	7,50					7,24	7,20		7,38	7,40
052-RE-014	Rua Benedito Stengel, 115 - Jardim Parenti	BAIXA - 1			7,36	8,08					7,18	7,72		
052-RE-015	Rua Nove de Julho, 686	BAIXA - 1	7,83	7,21	7,22					7,80				7,20 / 7,15
052-RE-016	Rua Antonio Francisco Silva, 455	BAIXA - 1	7,80				8,40							
052-RE-017	Rua José Ventura Júnior, 55	BAIXA - 1				7,78								
052-RE-018	Rua São Vicente, 1035	BAIXA - 1		6,84	7,98		7,58		7,46					
052-RE-020	Rua Antonio Prette, 128 - Vila Prette	BAIXA - 1	6,90					7,58	7,38					
052-RE-021	Rua Tereza F. Chumlea, 46 - Residencial Nunes	BAIXA - 1				7,60		7,56			7,54	7,67		
052-RE-022	Rua Ins Ceranto, 75 - Residencial Nunes	BAIXA - 1				8,21						7,75		
052-RE-023	Creche do Jardim Parenti	BAIXA - 1	6,80	7,20	7,37 / 6,91		7,91	6,85	7,00	7,25		7,73	7,49	
052-RE-024	Avenida São Bernardo, 461 - Escola Jardim Parenti II	BAIXA - 1											7,90	7,21
052-RE-025	Rua João Sibm, 141 - Vila Canaã	BAIXA - 1		7,25		7,66						7,93		7,46
052-RE-026	Rua Antonio C. Oliveira, 101 - Vila Canaã	ALTA - 2	7,83					7,21						7,18
052-RE-027	Rua Antonio Salvador, 77 0 Vila Canaã	BAIXA - 2		7,10	7,19			7,18	7,24	7,22	7,70			
052-RE-028	Rua Arthur Bronzatto Sobrinho, 88 - Jardim Presépio da Serra	ALTA - 1	7,80						7,37	7,35 / 7,48		7,57 / 7,80		
052-RE-029	Rua Matheus Dias, 151 - CDHU Mano Covas	BAIXA - 1			7,26		8,18			7,29			7,95 / 7,37	
052-RE-030	Rua Brasília Paes de Almeida, 106 - Vila Nova America	BAIXA - 1			7,38			7,40			7,45	7,64	7,65 / 7,45	

Fonte: SABESP (2008f).

Também é realizado o monitoramento da qualidade da água através do Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano da Secretaria de Estado da Saúde (São Paulo, 2008). A Tabela 6.30 mostra a distribuição dos pontos de coleta segundo zonas de abastecimento.

Tabela 6.30 Distribuição dos pontos de coleta segundo zonas de abastecimento – Itatinga -2008.

Zona de Abastecimento	Quantidade de pontos de coleta	%
Baixa – 1	10	77
Alta – 1	1	8
Baixa – 2	2	15
Alta – 2	0	0
Total	13	100

Fonte: São Paulo (2008).

Há uma concentração maior de pontos de coleta na Zona Baixa – 1, área central da cidade em detrimento as demais zonas de abastecimento. As zonas Alta-1, Baixa-2 e Alta-2 concentram a população com maior vulnerabilidade social e portanto é conveniente que estas áreas sejam melhor cobertas pelo plano de monitoramento do PRÓ-ÁGUA.

Os resultados para Coliformes totais, *E. coli*, Turbidez, Residual de Cloro Livre e pH durante o ano de 2008 são mostrados nas Tabelas 6.31, 6.32, 6.33 e 6.34.

Os resultados dos exames e análises efetuados pelo PRÓ-ÁGUA indicaram teores de cloro residual livre em concentrações inferiores a prescrita pela Portaria de Potabilidade. Contudo não foi verificada a presença de coliformes totais e *E. coli* nas amostras analisadas.

Os resultados dos exames e análises de amostras colhidas do SAA indicam que é de boa qualidade a água distribuída à população de Itatinga, os episódios de não conformidade a legislação sanitária vigente foram poucos e ocorreram de forma isolada.

Tabela 6.31 Resultado Bacteriológico de amostras de água colhidas pela Vigilância Sanitária para Coliformes Totais e E. coli. – Itatinga – 2008.

Código Vigilância	Local dos Pontos de Coleta	zona de abastecimento	Coliformes totais e C. termotolerantes - E. coli											
			jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08
VIG-01	Rua Rizzieri Parenti, 492	BAIXA - 1	Ausência	Ausência			Ausência		Ausência					
VIG-02	Rua Sueo Inoue, 50	BAIXA - 1	Ausência	Ausência			Ausência		Ausência		Ausência	Ausência	Ausência	
VIG-03	Rua São Sebastião, 180	BAIXA - 1	Ausência	Ausência	Ausência		Ausência		Ausência					
VIG-04	Rua Erasmo Biazon, 94	BAIXA - 1	Ausência	Ausência	Ausência		Ausência		Ausência					
VIG-05	Rua Gabriel Salvador, 222	BAIXA - 1			Ausência									
VIG-06	Rua Antonio Salvador, 308	BAIXA - 2			Ausência									
VIG-07	Rua Julieta Antunes Almeida, 93	BAIXA - 1								Ausência				
VIG-08	Rua Franklin Gutierrez, 186	BAIXA - 1								Ausência				
VIG-09	Rua José Talamonte, 64	BAIXA - 1								Ausência				
VIG-10	Rua José di Piero, 972	BAIXA - 1									Ausência		Ausência	Ausência
VIG-11	Rua Alan Kardac, 27	BAIXA - 1									Ausência	Ausência	Ausência	
VIG-12	Rua Benedito Ribeiro de Barros, 334	BAIXA - 2									Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
VIG-13	Rua Antonio João da Silva, 121	ALTA - 1										Ausência		

Fonte: São Paulo (2008).

Tabela 6.32 Resultado das análises físico – Química realizadas pela Vigilância Sanitária para Turbidez – Itatinga – 2008.

Código Vigilância	Local dos Pontos de Coleta	zona de abastecimento	Turbidez											
			jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08
VIG-01	Rua Rizzieni Parenti, 492	BAIXA - 1		1,09			0,08		0,25					
VIG-02	Rua Sueo Inoue, 50	BAIXA - 1		0,24			1,38		0,25		0,36	0,35	0,76	0,25
VIG-03	Rua São Sebastião, 180	BAIXA - 1		0,33	0,26		0,37		0,38					
VIG-04	Rua Erasmo Biazon, 94	BAIXA - 1		2,33	0,41		0,45		2,86					0,3
VIG-05	Rua Gabriel Salvador, 222	BAIXA - 1			0,28									
VIG-06	Rua Antonio Salvador, 308	BAIXA - 2			0,31									
VIG-07	Rua Julieta Antunes Almeida, 93	BAIXA - 1								0,56				
VIG-08	Rua Franklin Gutierrez, 186	BAIXA - 1								0,62				
VIG-09	Rua José Talamonte, 64	BAIXA - 1								0,46				
VIG-10	Rua José de Piero, 972	BAIXA - 1									0,34		0,76	0,3
VIG-11	Rua Alan Kardec, 27	BAIXA - 1									0,36	0,2	0,42	
VIG-12	Rua Benedito Ribeiro de Barros, 334	BAIXA - 2									0,54	0,13	0,78	0,2
VIG-13	Rua Antonio João da Silva, 121	ALTA - 1										0,29		

Fonte: São Paulo (2008).

Tabela 6.33 Resultado das análises físico – química realizadas pela Vigilância Sanitária para Cloro Residual Livre – Itatinga – 2008.

Código Vigilância	Local dos Pontos de Coleta	zona de abastecimento	Cloro Residual Livre (mg/L)											
			jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08
VIG-01	Rua Rizien Parenti, 492	BAIXA - 1	1,50	1,00			0,50		0,50					
VIG-02	Rua Sueo Inoue, 50	BAIXA - 1	1,00	0,50			0,10		0,50		0,20	0,80	0,50	0,30
VIG-03	Rua São Sebastião, 180	BAIXA - 1	1,00	1,00	1,50		0,10		0,50					
VIG-04	Rua Erasmo Biazon, 94	BAIXA - 1	0,50	1,00	1,00		0,10		0,50					0,50
VIG-05	Rua Gabriel Salvador, 222	BAIXA - 1			1,50									
VIG-06	Rua Antonio Salvador, 308	BAIXA - 2			1,00									
VIG-07	Rua Julieta Antunes Almeida, 93	BAIXA - 1								0,50				
VIG-08	Rua Franklin Gutierrez, 186	BAIXA - 1								0,20				
VIG-09	Rua José Talamonte, 64	BAIXA - 1								0,50				
VIG-10	Rua José di Piero, 972	BAIXA - 1									0,50		0,50	0,50
VIG-11	Rua Alan Kardec, 27	BAIXA - 1									1,00	1,00	0,80	
VIG-12	Rua Benedito Ribeiro de Barros, 334	BAIXA - 2									0,80	0,50	0,50	0,30
VIG-13	Rua Antonio João da Silva, 121	ALTA - 1										0,80		

Fonte: São Paulo (2008).

Tabela 6.34 Resultado das análises físico – química realizadas pela Vigilância Sanitária para pH – Itatinga – 2008.

Código Vigilância	Local dos Pontos de Coleta	zona de abastecimento	pH											
			jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08
VIG-01	Rua Rizieni Parenti, 492	BAIXA - 1	7,20	6,80			6,80		7,20					
VIG-02	Rua Sueo Inoue, 50	BAIXA - 1	6,80	6,80			7,20		7,20		7,20	7,00	7,20	7,20
VIG-03	Rua São Sebastião, 180	BAIXA - 1	7,20	6,80	6,80		7,20		7,00					
VIG-04	Rua Erasmo Biazon, 94	BAIXA - 1	6,80	6,80	6,80		6,80		7,00					7,20
VIG-05	Rua Gabriel Salvador, 222	BAIXA - 1			6,80									
VIG-06	Rua Antonio Salvador, 308	BAIXA - 2			6,80									
VIG-07	Rua Julieta Antunes Almeida, 93	BAIXA - 1								6,80				
VIG-08	Rua Franklin Gutierrez, 186	BAIXA - 1								7,00				
VIG-09	Rua José Talamonte, 64	BAIXA - 1								6,80				
VIG-10	Rua José di Piero, 972	BAIXA - 1									7,00		7,50	7,20
VIG-11	Rua Alan Kardec, 27	BAIXA - 1									7,20	7,20	7,20	
VIG-12	Rua Benedito Ribeiro de Barros, 334	BAIXA - 2									6,80	7,20	7,20	7,20
VIG-13	Rua Antonio João da Silva, 121	ALTA - 1										7,00		

Fonte: São Paulo (2008).

Através da análise das solicitações de serviços (SSs) foi possível detectar reclamações quanto à qualidade da água distribuída em Itatinga, conforme mostra a Tabela 6.35.

Tabela 6.35 Reclamações de consumidores quanto a qualidade da água distribuída pela SABESP – Itatinga - 2008.

Ítem	Zona de Abastecimento	Qtde	%
1	Zona Baixa -1	2	50,00%
2	Zona Alta -1	1	25,00%
3	Zona Baixa -2	1	25,00%
4	Zona Alta - 2	0	0,00%
TOTAL		4	100,00%

Fonte: SABESP (2008d).

As reclamações foram alocadas em mapa e estão indicadas na Figura 6.11. Observa-se que as reclamações ocorreram em pontas de redes onde geralmente há acúmulo de sujeira, devido, entre outros motivos, à baixas velocidades.

6.2.4 Descrição do ambiente no entorno das redes de distribuição de água

Foram estudadas quatro situações que tornam o ambiente perigoso e trazem riscos à rede de distribuição de água:

- Rede coletora de esgoto existente;
- Áreas não atendidas com redes coletoras;
- Áreas sujeitas a inundação;
- Corrosividade do solo.

Neste estudo outras importantes fontes de contaminação não foram consideradas e as justificativas para tal foram elencadas no Quadro 6.3.

Figura 6.11 - Localização dos imóveis dos quais foram feitas reclamações quanto à qualidade de água em Itatinga em 2008.

Fonte: SABESP (2008c).

Quadro 6.3 Fontes de contaminação não consideradas neste estudo.

Fontes de contaminação	Justificativa
Áreas de disposição de resíduos sólidos	A única área existente encontra-se na zona rural distante da rede de distribuição de água.
Indústrias	As indústrias existentes são poucas e estão localizadas em sua maioria na zona rural.
Drenagem superficial	Inexistem drenos ou canais de esgotamento sanitário.
Áreas permanentemente alagadas	As características topográficas e urbanísticas de Itatinga não são propícias ao aparecimento de áreas permanentemente alagadas.
Favelas, invasões ou loteamentos clandestinos	Ausentes na sede do município de Itatinga

6.2.4.1 Sistema de Esgoto Sanitário

Atualmente o sistema atende com coleta 98% da população urbana de Itatinga dos quais 100% dos esgotos coletados são tratados (SABESP, 2008b). O sistema é composto basicamente de rede coletora, coletores-tronco, uma estação elevatória final, uma estação de tratamento de esgoto e disposição final no Rio Novo.

A área urbana de Itatinga é toda drenada pelo rio Novo e dois pequenos córregos tributários: Córrego do Paulino e Córrego do Toledo. Todo o esgoto é coletado em 42 km de rede que encaminha seus efluentes para o coletor tronco e, depois, para o interceptor do Rio Novo. O efluente do interceptor segue para a estação elevatória de esgoto final (EEE) localizada no final da rua São Bom Jesus, próximo a linha férrea. Através da EEE e emissário por recalque todo o esgoto é encaminhado para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

A ETE é composta por uma unidade de tratamento preliminar - com gradeamento médio e caixa de areia e tratamento secundário feito em duas lagoas de estabilização em série – uma lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa facultativa. O efluente tratado é lançado no rio Novo à cerca de 5 km à jusante da captação de água.

A evolução do número de economias, ligações e rede de esgoto do sistema de esgoto de Itatinga, durante os 4 trimestres de 2008, é mostrado na Tabela 6.36.

Tabela 6.36 Dados Operacionais do Sistema de Esgoto Sanitário de Itatinga – 2008.

Trimestre	Economias					Total de Ligações	Extensão de Rede (km)
	Residenciais	Comerciais	Industriais	Públicas	Total		
1º.	4.299	415	25	49	4.788	4.720	42,4
2º.	4.314	416	28	50	4.808	4.733	42,4
3º.	4.350	415	28	50	4.843	4.788	42,4
4º.	4.354	423	28	49	4.854	4.799	42,4

Fonte: SABESP (2008).

A Figura 6.11 mostra a localização das redes coletoras.

A grande maioria das ruas de Itatinga são largas e a rede coletora de esgotos está locada predominantemente no seu eixo central e a rede de distribuição de água em suas laterais. No cadastro da rede coletora existente não há indicação da profundidade dos poços de visitas; segundo consulta a funcionários da SABESP de Itatinga, a rede mais antiga está locada a pelo menos 1,50 metros de profundidade. Para os empreendimentos imobiliários que circundam a área central e que surgiram após a assunção dos serviços pela SABESP, é esperado que as redes estejam na mesma profundidade para a situação de rede simples no leito carroçável. A exceção a esta regra é a rede coletora de esgoto no Jardins Parenti I e II, nos quais a rede coletora de esgoto foi assentada na calçada ao lado da rede de distribuição de água.

6.2.4.2 Áreas não atendidas com rede coletora de esgoto

Existem duas áreas que não são atendidas por rede coletora de esgoto e estão indicadas na Figura 6.12. A área do Distrito Industrial onde há efetiva ocupação dos lotes foi implantada rede coletora de esgoto, nos demais lotes coube ao proprietário viabilizar o tratamento e disposição final.

A área próxima aos antigos armazéns do Instituto Brasileiro do Café (IBC) é ocupada por chácaras e pequenos sítios e têm características de assentamentos rurais dispersos. O uso de fossas negras e a disposição direta no Rio Novo são as principais soluções para o tratamento e disposição final dos esgotos.

Figura 6.12 - Rede coletora de esgoto de Itatinga em 2008.
Fonte: SABESP (2008c).

6.2.4.3 Áreas sujeitas a inundação

Foi detectada apenas uma área de inundação, a qual localizada na confluência da linha férrea e o Rio Novo, conforme mostra a Figura 6.12. Os efeitos da inundação desta área são agravados pelo fato de a Estação Elevatória de Esgoto também estar ali localizada por também sofrer os efeitos de inundações.

6.2.4.4 Corrosividade do solo

As características pedológicas do solo de Itatinga foram obtidas através da consulta aos relatórios de sondagens do Projeto Executivo do Reservatório Apoiado de 1.000 m³ recém construído, os quais indicam no horizonte compreendido entre zero e 2,00 (dois) metros de profundidade a presença de areia-siltosa (HIDRÓPOLIS, 1997). Segundo informações obtidas da área operacional da SABESP, excetuando a tubulação de ferro galvanizado, nas tubulações de PVC, ferro fundido e fibro-cimento não há indicações de corrosão externa aparente.

A análise detalhada da rede de distribuição de água foi fundamental para este estudo, pois a avaliação de risco exigiu amplo entendimento das características físicas (materiais usados, idade, tipo de tubulações etc.), hidráulicas (vazões, pressões, forma de operação etc.) e sanitárias (localização da rede em relação a fontes de contaminação, qualidade da água, população atendida, vulnerabilidade do sistema etc.) da unidade estudada. O detalhamento desta análise fornece informações importantes e aponta situações perigosas encontradas na rede as quais deverão ser quantificadas durante a análise de avaliação de perigos.

6.3 AVALIAÇÃO DE PERIGOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A partir das informações colhidas junto aos órgãos públicos e na operadora do sistema e agrupadas conforme mostrado nos itens anteriores, foi possível proceder a avaliação de risco na rede de distribuição seguindo, conforme metodologia proposta, considerando basicamente três fatores de risco:

- Fonte e ambientes perigosos;
- Vulnerabilidade da rede de distribuição de água, e
- Suscetibilidade da população atendida.

A escolha do método semi-quantitativo para a avaliação de risco permitiu quantificar os riscos e perigos sempre que possível por trechos individuais da rede de distribuição de água. Não foi possível usar o método quantitativo porque não estavam disponíveis em nível de detalhe necessário.

6.3.1 Avaliação de fontes e ambientes perigosos

A avaliação de fontes e ambientes perigosos considerou três parâmetros:

- Fonte de perigo
- Áreas baixas
- Corrosividade

Em relação à variável fonte de perigo na qual é avaliada a carga fecal circulante no ambiente próxima à rede coletora vale observar que, o sistema de esgoto sanitário de Itatinga possui elevado índice de atendimento de coleta e tratamento de esgoto (98%), diferente da situação descrita por Godfrey et al. (2002) em Kampala, Uganda em que apenas 10% da população era atendida por rede coletora.

Neste estudo foram utilizados critérios diferentes porque, em locais sem rede coletora a carga fecal é disposta próxima a área onde as pessoas vivem e, portanto é possível inferir que a carga fecal seja proporcional à população residente no local. Em comunidades servidas com sistemas coletivos de esgoto, as excretas são retiradas dos locais onde são produzidas através da rede coletora, partindo dos pontos elevados e se concentrando nos trechos mais baixos, geralmente próximos às margens de corpos de água, onde estão implantados os coletores tronco, interceptores e emissários. Portanto a carga fecal movimenta-se dentro da rede coletora e se concentra nos coletores-tronco, interceptores e emissários, os quais, geralmente são compostos por tubulações de diâmetro superior aos encontrados nas redes coletoras.

Não foi possível avaliar as condições hidráulicas da rede coletora, pois não havia informações suficientes, como foi descrito na metodologia. O conjunto de critérios mais simples adotado foi baseado na hipótese que a carga fecal veiculada tem relação direta com a vazão de esgoto veiculada, e esta com o diâmetro da tubulação coletora. Contudo, nem sempre é válida uma vez que o escoamento livre depende, além do diâmetro, da declividade e rugosidade do material da tubulação – conforme mostram as equações de Manning e Bazin (PORTO, 2000).

A avaliação de fontes e ambientes perigosos levou em consideração as zonas de abastecimento e cada trecho foi avaliado segundo os critérios estabelecidos no método proposto e cujos resultados apresentados na forma de matriz de risco estão detalhados no Adendo C.

6.3.2 Avaliação da vulnerabilidade da rede de distribuição de água

Neste estudo os termos “vulnerabilidade estática” e “vulnerabilidade dinâmica” da rede usados por Godfrey et al. (2002) e Tibatemwa et al. (2003) foram substituídos pelas expressões vulnerabilidade física, vulnerabilidade hidráulica e vulnerabilidade da qualidade da água, porque o autor considerou estes termos mais abrangentes e adequados para expressar as novas variáveis agregadas e esta terminologia estar em harmonia com os conceitos de integridade física, hidráulica e da qualidade da água utilizados na literatura revisada (USEPA, 2006b e NRC, 2006).

A avaliação de vulnerabilidade foi, então, dividida em três áreas cada qual composta por variáveis que estão assim distribuídas:

- Vulnerabilidade Física
 - Extensão do trecho da rede
 - Diâmetro
 - Material
- Vulnerabilidade Hidráulica
 - Quantidade de Vazamentos na rede
 - Perda de água no sistema
 - Pressão na rede
- Vulnerabilidade da Qualidade da Água
 - Coliformes totais e *E. coli*
 - Turbidez
 - Residual de cloro livre e pH

A avaliação da vulnerabilidade da rede também levou em consideração as zonas de abastecimento e cada trecho foi avaliado segundo os critérios estabelecidos no método proposto e cujos resultados, apresentados na forma de matriz de risco, estão detalhados no Adendo D.

6.3.3 Avaliação da suscetibilidade da população abastecida

A avaliação de suscetibilidade da população abastecida foi realizada considerando as seguintes variáveis:

- Quantidade de pessoas que consomem água em cada zona de abastecimento
- Vulnerabilidade Social

A avaliação da suscetibilidade da população abastecida levou em consideração apenas as zonas de abastecimento e foi avaliada segundo os critérios estabelecidos no método proposto no item 5.3 e cujos resultados apresentados na forma de matriz de risco estão detalhados no Adendo E.

Vale lembrar que a definição da quantidade de pessoas suscetíveis expostas aos perigos estudados - baseada na hipótese de que qualquer evento de contaminação poderia atingir todo setor de abastecimento e, portanto, toda a população ali residente estaria sujeita à contaminação - somente é válida para as tubulações primárias e não pode ser verificada em toda a rede. A utilização de modelos matemáticos avançados pode auxiliar uma melhor definição da população atingida por um evento de contaminação. Por ora, neste trabalho foi adotada esta simplificação, a qual pode ser extremamente conservadora, para trechos com tubulações de ponta de rede ou pequeno diâmetro.

A Figura 6.13 mostra a divisão das diversas categorias de suscetibilidade para a área estudada.

6.3.4 Ponderação dos Riscos

A ponderação dos riscos, conforme descrito no método proposto, levou à obtenção da distribuição de pesos conforme variáveis analisadas, que é mostrada na Figura 6.14. No Adendo F é apresentado em detalhe o cálculo de cada fator e variável utilizada no Método de Análise Hierárquica.

6.3.5 Matriz de Risco

As matrizes de riscos foram elaboradas para cada zona de abastecimento e estão apresentadas nos Adendos C, D e E. No Adendo G é mostrado um resumo dos fatores

de risco avaliados: fontes e ambientes perigosos, vulnerabilidade da rede e suscetibilidade.

Figura 6.13 - Vulnerabilidade social considerada para Itatinga em 2008.
Fonte: SEADE (2008c).

Figura 6.14 Estrutura das variáveis usadas para a avaliação de risco da rede de distribuição de água de Itatinga.

A partir das matrizes de risco foi possível calcular o risco médio para todo o sistema – o valor encontrado foi de 1,95. Este valor conforme adotado no item 5.4 – Priorização de Riscos, indica que a rede de distribuição como um todo possui perigos que requerem pouca atenção. Contudo, tal conclusão pode ser enganosa, fruto de simplificação exagerada em relação às médias estatísticas.

Ao adotar valores específicos para os perigos: 1, 2, 3 e 4 foi possível realizar operações matemáticas que permitiram associar estes riscos e definir uma pontuação final para cada um deles. Contudo, ao aplicar estes valores à escala de priorização adotada no item 5.4 foi preciso cautela, por não ser possível estabelecer o real nível de perigo para valores intermediários – fruto do somatório dos diversos perigos. Os valores intermediários devem ser comparados entre si.

Os estudos de impacto ambientais buscam compreender os aspectos positivos e negativos de uma atividade ou ação e verificar a relação custo benefício mais favorável, portanto valores médios parecem ser convenientes nestes estudos. Ao contrário, as avaliações de risco buscam caracterizar situações críticas ou aspectos negativos de uma atividade ou ação. Vale recordar WHO (2002c) que reporta a necessidade de ser dispensada atenção especial aos riscos à saúde e, proceder sua avaliação e redução sistemática. Portanto, é necessário buscar os valores extremos – expressos neste estudo pela pontuação máxima - pois neles residem os mais importantes fatores ou variáveis cuja intervenção, geralmente, é custo/eficaz. Apesar desta análise apresentar os valores médios e mínimos, para o tomador de decisão é nos valores máximos que residem o foco da sua ação.

Ao analisar a distribuição dos riscos segundo as zonas de abastecimento – conforme mostra a Tabela 6.37 – é possível observar que a distribuição dos perigos por zona de abastecimento não é uniforme e que existem importantes diferenças entre elas. A zona baixa-1 concentra os maiores perigos, enquanto a zona alta-2 apresenta os menores valores de perigos.

Como a zona baixa-1 concentra os maiores valores de perigos e, portanto, nela deveriam ser tomadas as principais medidas para redução dos riscos. Contudo, ainda não foi possível definir quais fatores de risco devem sofrer intervenções, nem em que local específico elas devem ser feitas.

A Tabela 6.38 e a Figura 6.15 apresentam valores dos perigos segundo os principais fatores de risco utilizados neste estudo: fontes e ambientes perigosos; vulnerabilidade da rede e suscetibilidade.

Tabela 6.37 Distribuição dos valores de risco segundo as zonas de abastecimento – Itatinga - 2008.

Zonas de Abastecimento	Pontuação de risco		
	Maior valor	Valor médio	Menor valor
Baixa -1	2,66	2,29	2,12
Alta -1	2,35	2,09	2,00
Baixa - 2	2,14	1,76	1,60
Alta - 2	1,75	1,65	1,61

Tabela 6.38 Distribuição dos valores de risco segundo fatores de risco analisados e zonas de abastecimento – Itatinga – 2008.

Zonas de Abastecimento	Pontuação de risco				
	Valores	Fontes e Ambientes Perigosos	Vulnerabilidade da Rede	Suscetibilidade	Total
Baixa - 1	Maior valor	3,00	2,84	3,00	2,66
	Valor médio	1,29	2,21	3,00	2,29
	Menor valor	1,00	1,97	3,00	2,12
Alta - 1	Maior valor	1,13	2,08	3,50	2,35
	Valor médio	1,03	1,64	3,50	2,09
	Menor valor	1,00	1,47	3,50	2,00
Baixa - 2	Maior valor	1,67	1,73	3,00	2,14
	Valor médio	1,02	1,56	3,00	1,76
	Menor valor	1,00	1,32	3,00	1,60
Alta - 2	Maior valor	1,00	1,56	2,50	1,75
	Valor médio	1,00	1,38	2,50	1,65
	Menor valor	1,00	1,31	2,50	1,61

Figura 6.15 Distribuição dos valores de risco segundo as zonas de abastecimento – Itatinga – 2008.

A zona baixa-1 concentra os principais perigos relacionados a fontes e ambientes perigosos e à vulnerabilidade da rede. Embora a suscetibilidade, apesar de apresentar pontuações muito próximas entre as quatro zonas de abastecimento, o operador do sistema de abastecimento de água tem pouco poder de ação sobre ela. Por outro lado fontes e ambientes perigosos e a vulnerabilidade da rede na zona baixa devem ser melhor investigados quanto as maiores pontuações de perigos encontrados.

A Tabela 6.39 apresenta o resumo da matriz de risco para as variáveis relacionadas ao fator de risco, fontes e ambientes perigosos.

Ao avaliar detalhadamente a Tabela 6.39 e a matriz de risco relacionada a fontes e ambientes perigosos e considerando que valores de perigos iguais ou superiores a três (3) requerem maior atenção é possível observar que:

- As maiores pontuações encontradas para o fator fontes e ambientes perigosos pertencem aos trechos nos quais foram implantadas redes de água e esgoto no passeio. Estes trechos de redes estão localizados nos Jardins Parenti I e II; são 40 trechos e cerca de 3.563,00 m de tubulações.
- Os maiores valores relacionados à corrosividade são devidos à existência de redes de ferro galvanizado; são 19 trechos que perfazem 1.801,00 m de tubulação que se distribuem entre as zonas baixa-1 e alta-1.
- O maior valor para áreas baixas na zona baixa-2 foi encontrado na travessia da rede que parte do Centro de Reserva e abastece as zonas baixa-2 e alta-2. Esta

travessia aérea está sujeita a inundação provocada pelo Rio Novo uma vez que foi construída sem considerar a possibilidade de enchentes.

Tabela 6.39 Valores de perigos para as variáveis relacionadas ao fator de risco fonte e ambiente perigosos – Itatinga - 2008.

Zonas de abastecimento	Valores	Fonte e Ambientes Perigosos			Total
		Fonte de Perigo	Áreas Baixas	Corrosividade	
Baixa - 1	Maior valor	4,00	3,00	3,00	3,00
	Valor médio	1,37	1,02	1,51	1,29
	Menor valor	1,00	1,00	1,00	1,00
Alta - 1	Maior valor	1,00	1,00	3,00	1,13
	Valor médio	1,00	1,00	1,50	1,03
	Menor valor	1,00	1,00	1,00	1,00
Baixa - 2	Maior valor	1,00	3,00	3,00	1,67
	Valor médio	1,00	1,06	1,06	1,02
	Menor valor	1,00	1,00	1,00	1,00
Alta - 2	Maior valor	1,00	1,00	1,00	1,00
	Valor médio	1,00	1,00	1,00	1,00
	Menor valor	1,00	1,00	1,00	1,00

Essas áreas foram indicadas no Adendo H que constitui o Mapa de Risco da rede de distribuição de água de Itatinga.

A vulnerabilidade da rede também foi analisada detalhadamente a partir da Tabela 6.40 e da sua respectiva matriz de risco.

A análise indica a existência de perigos que exigem atenção imediata do operador; enquanto os perigos relacionados à vulnerabilidade física estão concentrados nas zonas baixa-1 e alta-1, os maiores perigos relacionados à vulnerabilidade hidráulica estão distribuídos nas zonas baixa-1, alta-1, e baixa-2.

Os problemas relacionados à vulnerabilidade da rede da zona baixa-1 observados no modelo foram:

- Existência de 23 trechos de rede com valores de perigo acima de 3 em um total de 3.061,00 m. Os valores maiores observados relacionados à vulnerabilidade física são devidos à associação de idade avançada da rede, material – ferro galvanizado e

fibro-cimento com diâmetros inferiores ao mínimo previsto em norma (ABNT, 1994).

Tabela 6.40 Valores de perigos para as variáveis relacionadas ao fator de risco vulnerabilidade da rede – Itatinga - 2008.

Zonas de abastecimento	Valores	Vulnerabilidade da Rede		
		Física	Hidráulica	Qualidade da Água
Baixa - 1	Maior valor	3,90	3,31	2,37
	Valor médio	2,22	1,91	2,37
	Menor valor	1,23	1,66	2,37
Alta - 1	Maior valor	3,85	2,54	1,35
	Valor médio	2,34	1,79	1,35
	Menor valor	1,54	1,66	1,35
Baixa - 2	Maior valor	2,94	3,03	1,00
	Valor médio	1,87	2,41	1,00
	Menor valor	1,74	1,66	1,00
Alta - 2	Maior valor	2,00	2,35	1,00
	Valor médio	1,86	1,79	1,00
	Menor valor	1,66	1,66	1,00

- Foram identificados 20 trechos com valores de perigo superiores a 3 relacionados à vulnerabilidade hidráulica que totalizam 2.613,00 m. Neste caso predominam os problemas de pressões inferiores à mínima, agravados pelo alto índice de perda de água. A existência de poucos vazamentos na rede e em ligações é devida ao fato de já ter havido substituição das ligações que apresentavam problemas. Ao mapear esta situação fica evidente que os problemas hidráulicos são devidos à insuficiência de rede primária com diâmetros adequados, fato que foi agravado com a implantação dos loteamentos Jardim Parenti I e II feitos simplesmente com a interligação das pontas de rede existentes. Por outro lado as reclamações de falta de água indicadas como: F-1, F-4, F-7, F-9, F-17, F-18, F-14, F-22, F-26 e F-28 na Figura 6.9

merecem maior atenção da operadora dos serviços e deveriam ser tomadas imediatas medidas de controle para reduzir estes riscos.

Na zona alta-1 foi observada a existência de 3 trechos de rede com valores de perigo acima de 3 em um total de 296,00 m. Os maiores valores observados são devidos à associação de idade avançada da rede, material – ferro galvanizado associados a diâmetros pequenos.

Na zona baixa-2 os perigos de valores mais elevados estão associados aos trechos que interligam o Centro de Reserva às zonas baixa-2 e alta-2; localizados em áreas nas quais é inevitável a presença de pressões abaixo de 10 mca – neste trecho não há ligações de água.

A partir desta análise mais profunda foi possível elaborar o Mapa de Risco com indicação dos trechos com maior necessidade de atenção e nos quais os riscos precisam ser reduzidos.

É importante, para cada fator de risco, considerar quais intervenções podem ser realizadas pelo serviço de abastecimento de água para reduzir riscos. O fator de risco fonte e ambientes perigosos é composto por três variáveis: fontes de perigo, áreas baixas e corrosividade. As fontes de perigo dizem respeito diretamente à presença de matéria fecal e à distância que esta matéria fecal se encontra das tubulações da rede de distribuição. Para esta variável tem grande importância intervenções durante a fase de projeto e construção para garantir uma distância mínima segura entre as fontes de contaminação e as redes de distribuição – portanto, elas constituem importante barreira sanitária, a qual precisa ser considerada. Após a implantação das redes, os perigos que envolvem a não aplicação de uma distância segura refletem na necessidade de se garantir contínuo monitoramento da área e de pressões e tomar todos os cuidados possíveis para que reparos nas redes coletoras de esgoto, ou nas redes de distribuição de água, sejam feitos dentro de rígidas normas de higiene e segurança para evitar contaminação da água para consumo humano. Quando possível, as redes devem ser remanejadas de modo a garantir uma distância sanitariamente segura entre elas.

A variável – áreas baixas – sugere que deva ser evitado implantar rede de distribuição em locais sujeitos à inundações e com presença de nível de água do lençol freático próximo à superfície. Isto nem sempre é possível e, muitas vezes, as áreas se tornam sujeitas à inundação após determinado tempo, devido à mudanças que ocorrem

no uso e ocupação do solo, por exemplo. Portanto é difícil evitar a implantação de redes nessas locais, mesmo porque, geralmente, nessas áreas estão concentrados os assentamentos urbanos irregulares e a população mais suscetível a este benefício. Neste caso, manter as redes com pressões e residuais de cloro adequados e assegurar um monitoramento da qualidade da água em situações críticas são intervenções possíveis de serem efetivadas pelo serviço de abastecimento de água. Via de regra, por serem áreas próximas aos cursos d'água, são áreas topograficamente mais baixas e portanto pouco sujeitas aos efeitos de pressões baixas ou negativas. Por outro lado, por serem áreas baixas, há uma maior possibilidade de ali ocorrer acúmulo de sedimentos da rede e, portanto, são pontos onde há necessidade de freqüente operações de descarga na rede – dispositivo que fica vulnerável no caso de inundações.

A corrosividade do solo é uma variável que exige cuidadoso projeto da rede de distribuição de água com a especificação de materiais adequados, caso contrário, pouco poderá ser feito após a implantação da rede, a não ser a substituição de toda a tubulação.

O fator de risco vulnerabilidade tem suas variáveis diretamente ligadas ao projeto e operação das redes de distribuição. As definições do diâmetro, da extensão dos trechos e do material são feitas durante a fase de projeto da rede e, portanto, uma vez definidas pouco há a ser feito para diminuir risco, a não ser a substituição ou reforço das redes. As pressões dependem tanto do projeto como da operação das redes por sofrerem influência direta das perdas de água e de vazamentos. Portanto, são variáveis sobre as quais o serviço de abastecimento de água tem ampla autonomia de ação. A variável vulnerabilidade da qualidade da água está intimamente ligada à operação do sistema, contudo, para redes de distribuição de água é apenas um indicador de condições específicas e serve para validar a forma como o sistema é operado. Afinal uma das principais funções das redes de distribuição é manter a qualidade da água proveniente da unidade de tratamento.

Por sua vez, a suscetibilidade não é uma característica que depende do operador, ela é inerente ao sistema de abastecimento por envolver a população consumidora de água. Neste modelo todos os trechos e zonas de abastecimento avaliados carregam consigo certa parcela de risco sobre os quais não há como os serviços intervirem para reduzi-la.

Na Tabela 6.41 foi avaliado o percentual da pontuação do fator de risco suscetibilidade em relação aos risco total.

Tabela 6.41 Percentual do fator de risco suscetibilidade sobre o Risco Total – Itatinga - 2008.

Zonas de abastecimento	Valores	Suscetibilidade	Suscetibilidade Ponderada*	RISCO TOTAL	% da parcela suscetibilidade sobre o RISCO TOTAL	Risco mínimo a ser alcançado
Baixa - 1	Maior valor	3,00	0,89	2,35	42,08	1,59
	Valor médio	3,00	0,89	2,09	39,03	1,59
	Menor valor	3,00	0,89	2,00	33,58	1,59
Alta - 1	Maior valor	3,50	1,04	2,35	52,07	1,74
	Valor médio	3,50	1,04	2,09	49,74	1,74
	Menor valor	3,50	1,04	2,00	44,30	1,74
Baixa - 2	Maior valor	3,00	0,89	2,14	55,66	1,59
	Valor médio	3,00	0,89	1,76	50,81	1,59
	Menor valor	3,00	0,89	1,60	41,65	1,59
Alta - 2	Maior valor	2,50	0,74	1,75	46,14	1,45
	Valor médio	2,50	0,74	1,65	45,09	1,45
	Menor valor	2,50	0,74	1,61	42,46	1,45

Nota:

(*) suscetibilidade ponderada é o produto da pontuação dada a suscetibilidade (Apendice D) versus o peso atribuído ao fator de risco - vide figura 6.13.

Neste estudo a parcela da suscetibilidade em relação ao risco total variou de 33 a 56%. Estes percentuais são devidos às características socioeconômicas da população de Itatinga, cujos valores do IPVS indicam uma população socialmente vulnerável e, portanto, tal situação é representada na matriz de risco por valores elevados para a suscetibilidade. Vale observar que o peso associado ao fator de risco suscetibilidade foi de 0,2973, conforme mostra a figura 6.13, ou seja, de 29,73% em relação ao risco total caso todos as variáveis tivessem a mesma pontuação.

Assim cada sistema de abastecimento de água deve considerar a suscetibilidade e a população de cada zona de abastecimento, pois são riscos os quais não há possibilidade de redução abaixo de um determinado patamar; na Tabela 6.41 é mostrada uma situação – coluna risco mínimo a ser alcançado - em que, com exceção da suscetibilidade, os demais fatores foram reduzidos ao mínimo possível - pontuação 1.

Este patamar é definido pelo valor da suscetibilidade que indica, ao operador do sistema, a existência de zonas de abastecimento que merecem maiores cuidados. Isto não significa que devam existir diferentes níveis de operação – indica, porém, que são áreas prioritárias na escolha de intervenções.

Por outro lado, isto impõe ao operador do sistema que deseja diminuir riscos que os demais fatores de risco - fontes de contaminação e vulnerabilidade - sejam reduzidos a níveis em que os perigos requeiram pouca atenção. Ao adotar esta abordagem para a suscetibilidade inverte-se a ótica, muitas vezes perversa, que serviços de saneamento para comunidades carentes deva ser de baixa qualidade. Para serem garantidos baixos níveis de riscos/perigos é necessário que, nessas comunidades, os serviços prestados sejam de excelente qualidade, caso contrário é impossível a redução de riscos.

O Quadro 6.4 apresenta a discussão feita acima de forma resumida em que são assinaladas as áreas passíveis de intervenção em relação aos fatores de risco estudados.

Quadro 6.4 Áreas passíveis de intervenção que visem diminuir risco na rede de distribuição de Itatinga - 2008.

FATORES DE RISCO	Variáveis	Áreas passíveis de intervenção que visem diminuir riscos			
		Projeto	Operação	Planejamento Urbano	Melhorias nas condições socioeconômicas dos consumidores
PERIGOS E EVENTOS PERIGOSOS	Ambiente Perigoso	X	X	X	
	Áreas baixas	X	X	X	X
	Corrosividade do solo	X			
VULNERABILIDADE DA REDE	Vulnerabilidade Física	X	X		
	Vulnerabilidade Hidráulica	X	X	X	
	Vulnerabilidade da Qualidade da Água	X	X		
SUSCETIBILIDADE	População	X			
	Vulnerabilidade Social	X	X	X	X

Ainda em relação ao Quadro 6.4 é importante discutir a relação entre as duas áreas passíveis de intervenção pela operadora dos serviços de abastecimento de água: projeto e operação.

Projetos de sistemas de abastecimento mal elaborados e que não consideram os fatores e variáveis podem levar a situações de risco. Neste estudo de caso, por exemplo, a análise da rede de distribuição mostra a grande quantidade de pontas mortas que separam as zonas altas e baixas, as quais poderiam ter sido evitadas se, ao invés de ser levado em consideração apenas o aspecto econômico – menor custo de implantação, fosse considerado que nas pontas mortas ocorre invariavelmente acúmulo de sedimentos

e, por consequência, esses sedimentos levam a redução dos residuais de cloro e reclamações dos consumidores em relação a qualidade da água. Estas pontas mortas podem ser evitadas com fechamento dos circuitos.

Por outro lado é importante que a área operacional tenha amplo conhecimento e domínio dos problemas existentes no sistema de abastecimento pois somente assim é possível exigir projetos com soluções técnicas adequadas e abrangentes – afinal, se você não sabe para onde ir qualquer caminho serve.

A experiência do autor tem mostrado que, na elaboração de projetos de redes de distribuição é dada maior importância aos aspectos hidráulicos (diâmetro, vazão, velocidade e pressão) e a configurações de rede com menor custo de implantação (geralmente repletas de zonas mortas – vide rede de distribuição de água de Itatinga), em detrimento aos aspectos ligados à operação e saúde pública.

6.3.6 Mapa de Risco

O mapa de risco elaborado a partir dos resultados obtidos nas matrizes de risco é mostrado no Adendo H.

Considerando os perigos identificados e caracterizados é possível serem descritas algumas medidas de controle; para tanto é importante haver uma visão abrangente dos problemas e a inter-relação entre eles e, para isto, o Mapa de Risco constitui importante instrumento de trabalho.

A existência de tubos de ferro galvanizado induz o operador a providenciar a substituição por tubos de PVC e diâmetro de 50 mm. Contudo, é importante observar que isso deve ser considerado juntamente com as demais variáveis. Observe no Adendo H que, próximo à região central da zona baixa-1, na qual estão concentrados os tubos de ferro galvanizado também há problemas de pressão na rede. Portanto, deve ser estudada a redução de ambos os perigos para que a substituição das tubulações possa ter efeito mais abrangente e custo-eficaz.

Da mesma forma, o elevado número de vazamentos em ramais e o programa de sua substituição podem levar à alternativa de ser agregada a troca de ramais com a substituição da rede existente. No entanto, através de consulta às matrizes de risco é possível verificar que os vazamentos ocorrem nas ligações de redes recentemente implantadas e com baixo valor de perigos.

A adoção de adequadas medidas de controle permite tirar vantagens da sinergia existente entre as diversas variáveis da avaliação de risco. A substituição dos trechos de ferro galvanizado além de melhorar diretamente os valores da vulnerabilidade física, também propicia melhoria das condições hidráulicas com a adoção de tubos novos, com maior diâmetro e menor rugosidade. Também deve produzir menor quantidade de vazamentos que implicam em menor perda de água. Além disso, tubos menos rugosos são menos suscetíveis à formação de biofilmes e necessitam menor residual de cloro – ganhos para a vulnerabilidade da qualidade da água e para o operador com menor consumo de cloro aplicado.

Podem ser obtidos efeitos semelhantes ao substituir as tubulações de ferro fundido de diâmetro de 75 mm existentes nos trechos próximos ao limite da zona baixa-1 e zona alta-1. Para a zona alta-1 a substituição associada à implantação de rede na Rua Antonio Francisco da Silva permite o fechamento de anéis e, desta forma, é possível eliminar várias pontas de rede - o que reflete diretamente em menor quantidade de operações de descarga, reduzir possível fonte de sedimentos através da substituição dos tubos de ferro fundido e, por outro lado, por concentrar as descargas em apenas um ou dois dispositivos. Para a zona baixa-1 a substituição de tubos metálicos – ferro fundido e galvanizado – associada a um projeto hidráulico bem elaborado permitirá aumentar a pressão disponível da rede e, portanto, será melhor o acesso a água para os consumidores, as reclamações de água tenderão a diminuir, bem como a frequência das operações de descargas e com elas os riscos nesta zona de abastecimento.

O modelo ora descrito se elaborado em plataforma de planilhas eletrônicas do tipo EXCEL também permite realizar estudos e simulações sobre a melhor forma para reduzir riscos e atender os requisitos de custo/eficácia.

Ao tomador de decisões seja ele composto por órgãos responsáveis pela concessão de empréstimos, seja a área gerencial dos serviços de abastecimento de água, o modelo permite priorizar investimentos.

Para os profissionais que atuam na Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano o modelo aplicado juntamente com o operador do sistema permite verificar se as medidas de controle previstas irão atender os requisitos para garantir a segurança da água.

7. CONCLUSÕES

A proposta geral desta tese examinar a pertinência de utilização da avaliação de risco na operação de redes de distribuição e no controle da qualidade da água para consumo humano foi plenamente atendida. Inicialmente foram apresentados os fundamentos que envolvem o tema riscos, pois, principalmente na área de saneamento básico ele ainda é pouco estudado. Assim a consulta a bibliografia, resultou em extensa Revisão Bibliográfica necessária, para entender e apreender o termo “risco” e enfrentar as dificuldades para compreender os tipos, componentes e as várias formas de se abordar o tema.

O entendimento dos riscos ambientais e sua relação com a saúde humana possibilitaram constatar o importante papel das ações de saneamento e, principalmente, do abastecimento feito através de rede de distribuição de água como instrumento para diminuir a carga de doenças na população.

Os objetivos específicos deste trabalho que eram apresentar o modo pelo qual os conceitos de avaliação e gestão de risco podem ser aplicados na operação de redes de distribuição e no controle da qualidade da água; identificar e caracterizar as variáveis relevantes para a avaliação de risco em redes de distribuição; definir critérios e parâmetros e aplicá-los na avaliação de risco em uma rede de distribuição também foram atingidos. Para alcançá-los foi preciso apresentar como os conceitos e metodologias para a avaliação de riscos em redes de distribuição de água podem ser aplicados ao controle da qualidade microbiológica da água para consumo humano.

Para tanto foi necessário estudar as redes de distribuição de água considerando seus aspectos hidráulicos, construtivos, operacionais e sanitários o que permitiu identificar e caracterizar as variáveis relevantes para a avaliação de risco microbiológico em redes de distribuição de água. Ao detalhar o projeto e operação das redes de distribuição de água foi possível ir além da simples perspectiva hidráulica que redes sejam simplesmente um complexo arranjo de tubos, além de ter permitido apreender os aspectos de operação e da microbiologia de suas águas. Os aspectos operacionais mostraram que a operação, mais do que o simples abrir e fechar de válvulas e controlar equipamentos, é tarefa que exige amplo conhecimento e tem profunda relação com os riscos microbiológicos que envolvem as redes de distribuição de água.

Quando da discussão dos aspectos microbiológicos foi verificado que a complexidade da vida se estende às águas distribuídas e que a simples presença de

residual de cloro livre, baixa turbidez ou ausência de bactérias indicadoras de contaminação têm sido os únicos requisitos utilizados para garantir a distribuição de uma água segura para consumo humano.

Destes estudos foi possível extrair critérios e parâmetros e principalmente, conhecer os diversos fatores que intervêm no projeto, operação e construção de redes de distribuição.

Esta tese foi baseada na hipótese que esses parâmetros não constituem garantia *per se*, por isso aqui foram expostas novas abordagens para tratar o problema da segurança as quais, necessariamente, passam pela avaliação e gestão de riscos das redes de distribuição. Infelizmente ainda há poucos estudos sobre a avaliação de riscos em redes de distribuição de água conforme exposto na revisão bibliográfica e isso, evidentemente, revelou novos desafios. A partir dessa constatação foi apresentada uma sugestão de abordagem para identificação de perigos e caracterização de riscos em redes de distribuição de água.

O método proposto partiu de estudos já elaborados e foi enriquecido por novos parâmetros ora sugeridos ora indicados na literatura consultada. Contudo, a utilização destes novos parâmetros exigiu que fossem elaborados critérios para valoração dos riscos. Para a quantificação dos riscos foi elaborada uma escala simples de pontuação dos riscos a partir de critérios pré-estabelecidos. Esta escala apesar de simples permitiu facilmente quantificar os riscos identificados.

Contudo, em várias situações simplesmente foram “adotados” valores de risco, pois, muitas vezes, faltaram informações ao avaliador para defini-los precisamente. Tais situações não devem levar à conclusões simplistas da fragilidade ou ineficácia da avaliação: os argumentos frágeis, e critérios pouco precisos constituem um desafio para a Academia abordar.

A partir da pontuação de risco dada a cada trecho da rede foi possível avaliar e priorizar os riscos e indicar ações para sua gestão. O uso desta metodologia agregada a uma planilha eletrônica foi de fundamental importância, por permitir o estudo de cenários considerando ações corretivas previstas. O mapeamento dos riscos também possibilitou que os riscos fossem observados no espaço em que está confinada a rede de distribuição, o que foi importante instrumento para a rápida visualização dos problemas.

A aplicação do método proposto a rede de distribuição de Itatinga possibilitou verificar sua real utilidade. Conhecer detalhadamente o sistema de abastecimento de água a partir de informações confiáveis é fundamental para a avaliação de risco.

Os fatores de riscos utilizados: fontes e ambientes perigosos, vulnerabilidade da rede e suscetibilidade da população foram fundamentais para serem avaliados riscos tão distintos como carga fecal, diâmetro e material das tubulações e suscetibilidade da população. Estes fatores permitiram agregar informações tão díspares e valorá-las de forma simples e, assim, foi possível comparar valores entre trechos de rede e zonas de abastecimento. Algumas variáveis não puderam ser avaliadas em profundidade e precisão devido à falta de informações disponíveis - vide a avaliação de fontes de perigo em que a ausência de cadastro técnico detalhado da rede coletora de esgoto implicou na necessidade de fazer opção por critérios mais simples que carregam consigo maiores incertezas. Outra variável também não permitiu um detalhamento em nível de zonas de abastecimento - a avaliação das perdas de água, por exemplo - que levou a adoção de um único valor para toda a rede de distribuição.

Contudo, foi possível identificar e caracterizar grande parte dos fatores e variáveis que compõem os riscos microbiológicos, merece destaque a avaliação da vulnerabilidade da rede que, por ser mais complexa, possibilitou valorar os riscos e comparar com os problemas previamente identificados na etapa de descrição do sistema de abastecimento de água. Portanto, para este estudo de caso, as variáveis, parâmetros e critérios adotados foram úteis para a avaliação de risco microbiológico em redes de distribuição.

Em relação à matriz de risco e a ponderação de risco através do Processo Analítico de Hierarquização, em princípio mostrou que a obtenção de um único índice para toda a rede ou para um dado trecho parece de pouca serventia. Afinal o que importa é a redução de riscos e portanto, é preciso buscar os perigos com maior pontuação, independente de onde eles estejam.

O método de avaliação de risco proposto aqui é concebido como parte de um Plano de Segurança da Água implica na busca sistemática e contínua de redução de risco. Por ser um processo iterativo e de uso contínuo pelo operador do sistema estes índices permitem que sejam comparados cenários passados, atuais e futuros e, para isto, um índice geral ou por trecho é mais fácil de ser analisado e acompanhado.

A matriz de risco elaborada permitiu verificar os efeitos sinérgicos que determinadas intervenções na rede provocam na redução de risco, como por exemplo, a simples substituição de tubulações de ferro galvanizado por tubulações plásticas. O entendimento desta sinergia possibilita melhor compreensão do funcionamento de uma rede de distribuição de água e facilita a busca de soluções abrangentes e custo/eficazes.

Com relação a rede de distribuição de água de Itatinga o modelo aplicado permitiu concluir que:

- Apesar do sistema de abastecimento de água apresentar resultados de análises laboratoriais que na sua grande maioria atende aos Padrões de Potabilidade, a rede de distribuição de água apresenta riscos microbiológicos que precisam ser reduzidos. Estes riscos estão associados à:
 - idade avançada de trechos localizados no centro da cidade constituídos basicamente de tubulações de ferro fundido e ferro galvanizado.
 - Sobrecarga em determinados trechos localizados na zona baixa-1 fruto da ausência de rede primária;
 - Implantação de redes coletora de esgoto e de distribuição próximas uma das outras;
 - Existência de trechos de tubulações em áreas sujeitas a inundações;
 - Elevada perda de água em todo o sistema de abastecimento de água cujas causas podem ser atribuídas a constantes vazamentos nos ramais prediais e rede e a necessidade de intensa e freqüente rotina de descargas na rede.
 - Vulnerabilidade da população atendida pelo sistema de abastecimento de água.

Assim ao aplicar o método de avaliação de risco proposto na rede de distribuição de Itatinga foi possível verificar suas potencialidades e dificuldades de sua utilização. As potencialidades vêm da nova forma abrangente de se abordar a gestão da qualidade microbiológica da água em redes de distribuição, que passam a não depender única e exclusivamente de análises laboratoriais para se definir os riscos à saúde humana. As dificuldades estão ligadas ao fato de se tratar de abordagem recente, de conteúdo complexo, cujo arcabouço teórico está em construção e que ainda têm incipiente aplicação na área de saneamento.

A metodologia proposta mostrou ser eficaz na identificação e caracterização dos riscos, contudo ela exige:

- Que sejam efetuados estudos com vistas a obter informações de caráter nacional, uma vez que boa parte das que foram usadas neste estudo provêm da literatura estrangeira – como a avaliação da vulnerabilidade física da rede e os critérios utilizados para definição das categorias de risco para idade, comprimento, material e diâmetro da tubulação;
- Maiores estudos quanto à forma de serem estabelecidos riscos que possam ser utilizados para qualquer tipo de rede de distribuição de água, conforme a definição de critério para definição de fontes de perigos;

A Avaliação de Risco não existe por si só, mas é parte integrante do PSA – somente a avaliação de risco não é suficiente, é preciso agregar a ela uma adequada gestão para ser possível controlar os riscos em redes de distribuição de água. Para tanto é importante avançar no detalhamento de medidas de controle, na definição de um monitoramento adequado, na comunicação de riscos e na descrição de planos de contingência - que não fizeram parte desta tese.

A avaliação de risco/PSA não é um produto acabado, ele impõe a si mesmo a contínua atualização e aperfeiçoamento de seu conteúdo – conforme mostra o caráter cíclico do PSA mostrado na Figura 8. Este processo de permanente aperfeiçoamento leva à incorporação de novos conhecimentos e, com eles, novas formas para os riscos serem avaliados e geridos.

É importante também que a avaliação de risco não se restrinja a uma determinada área ou unidade do sistema de abastecimento de água, como feito neste estudo. A própria definição de sistema – “um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado” – aponta a necessidade de as unidades serem avaliadas individualmente, bem como as inter-relações entre elas.

Para ser elaborada a avaliação de risco são necessárias informações; é de fundamental importância que elas sejam confiáveis e expressem a realidade do sistema; contudo, nem sempre elas estão disponíveis da forma como se fazem necessárias. A falta de informações não deve ser vista como empecilho ou justificativa para a não realização da avaliação de risco. Toda avaliação de risco pressupõe a existência de dúvidas e incertezas. A falta de informação sobre determinado critério ou fator de risco

deve ser vista como meta a ser atingida – se não houver informações que permitam perfeita definição da distância correta entre as tubulações da rede de água e a rede coletora de esgoto, a solução é utilizar a melhor informação disponível e buscar melhorar a qualidade das informações via elaboração de cadastro técnico detalhado, por exemplo, para aperfeiçoar as próximas revisões do PSA.

A avaliação de risco apresentada neste estudo é válida apenas para a rede de distribuição de água de Itatinga, devido às incertezas e à forma como os critérios foram definidos especificamente para o objeto de estudo e, portanto, a comparação entre as diferentes redes de distribuição de água deve ser feita com cautela.

A avaliação de risco, bem como o Plano de Segurança da Água, fazem parte de uma construção coletiva e, portanto, é fundamental a participação de profissionais das diversas áreas do conhecimento ligados ao abastecimento de água, para enriquecer o debate, agregar novos conhecimentos, permitir a análise de problemas sob diversos ângulos e definir critérios com maior clareza e menor subjetividade.

É fundamental que no grupo que irá elaborar o PSA / Avaliação de risco estejam presentes profissionais que executam a operação diária do sistema, porque além de tornar possível serem obtidas informações detalhadas provenientes da prática diária – nem sempre disponíveis em documentos oficiais – essa situação cria: um ambiente de parceria entre as diversas áreas; consciência coletiva dos problemas e comprometem as partes envolvidas para o efetivo cumprimento da avaliação de risco / PSA.

A avaliação de Risco não substitui o elemento humano na tomada de decisões, mas fornece uma avaliação global mais exata dos diversos fatores envolvidos na gestão da segurança da água para consumo humano, e esse fato facilita sobremaneira a tomada de decisões.

8. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1977). *NB 594: elaboração de projetos hidráulicos de redes de distribuição de água potável para abastecimento público – Procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). *NBR 9.650: verificação da estanqueidade no assentamento de adutoras e redes de água – Procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). *NBR 10.156: desinfecção de tubulações de sistema público de abastecimento de água – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1987a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989). *NBR 12.211: estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). *NBR 12.266: projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana – Procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993). *NBR 9.896: glossário de poluição das águas – Terminologia*. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). *NBR 12.218: projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1994b.

AIGA, H. e UMENAI, T. (2002). Impact of improvement of water supply on household economy in a squatter area o Maila. *Social Science and Medicine*, v.55, n.4, p.627-641.

AINSWORTH, R. (ed.) (2004). *Safe piped water: managing microbial water quality. In piped distribution systems*. Geneva: World Health Organization, 2004.

ALEMBERT JUNIOR, J.N. (1997). *Manual prático de tubulações para abastecimento de água*. Rio de Janeiro: ABES.

ALMEIDA, A.B (2008). *Avaliação de riscos, segurança e fiabilidade* – aula nº 3: risco e sociedade. 2008. Disponível em: <<http://www.civil.ist.utl.pt>>. Acesso em: 20 jan.

ALMEIDA FILHO, N.A. (1992). *A clínica e a epidemiologia*. Salvador: APCE/Rio de Janeiro: ABRASCO.

ALMEIDA, L.M. e VERMELHO, L.L. (1997). Programa de Avaliação dos Impactos do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara sobre as Condições de Saúde e Qualidade de Vida – “PAISQUA” – Apresentação e situação atual. In: HELLER, L.; SANTOS MORAES, L.R.; MONTEIRO, T.C. N.; SALLES, M.J.; ALMEIDA, L.M.; CÂNCIO, J. (Orgs.). *Saneamento e saúde nos países em desenvolvimento*. Rio de Janeiro, CC&P Editores Ltda, 1997. p.36-48.

ALVES, W.C.; GONÇALVES, E.; SANCHEZ, J.G. (2004a). *Macromedição*. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. 109 p. (Documento Técnico de Apoio nº D2).

ALVES, W.C.; PEIXOTO, J.B.; SANCHEZ, J.G. (2004b). *Micromedição*. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. 171p. (Documento Técnico de Apoio nº D3).

AUSTRALIAN GOVERNMENT (2003). *Review of coliforms: as microbial indicators of drinking water quality*. Canberra: National Health and Medical Research Council, 2003.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1986). *Introduction to water distribution: principles and practices of water supply operations*. USA: American Water Works Association, v.3.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1990). *Manual M14: recommended practice for retrossifonagem protection and crossconnection control*. USA: American Water Works Association. 133p.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1992). *Implementation and optimization of distribution flushing programs*. Denver: AWWA Research Foundation, 88p.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1986). *Introduction to water distribution: principles and practices of water supply operations*. Denver: American Water Works Association, . v.3. 463p.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1999). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 5.ed. New York: McGraw-Hill Inc., 1248p.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION and EES. Inc. (2002a). *Permeation and leaching*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/tcr/pdf/permeleach.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION and EES. Inc. (2002b). *Effects of water age on distribution system water quality*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/tcr/pdf/waterage.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION and EES. (2002c). *Finished water storage facilities*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/tcr/pdf/storage.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION and EES. (2002d). *Nitrification*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/tcr/pdf/nitrification.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION SERVICE (2002e). *Deteriorating buried infrastructure management challenges and strategies*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/tcr/pdf/infrastructure.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (2004). *Distribution systems operation and management*. USA: American Water Works Association, 2004.

AZEVEDO NETTO, J.M.; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, M.; ARAÚJO, R.; ITO, A.E. (1998). *Manual de Hidráulica*. 8.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 670p.

AYRES, J.R.C.M. (1997). *Sobre o risco: para compreender a epidemiologia*. São Paulo: HUCITEC. 327p.

BALLANTYNE, D.; MORE D. (1995). Relative earthquake vulnerability of water pipes. In: ANNUAL CONFERENCE ENGINEERING AND OPERATION, 1995, Anaheim. *Proceedings...* Anaheim.

BARROS, A.J.; SOUZA LEHFELD, N.A. (1990). *Projeto de pesquisa: propostas metodológicas*. Petrópolis: Vozes, 1990. 102p.

BARTRAM, J.; FEWTRELL, L.; STENSTRÖM, T. (2001). Harmonised assessment of risk and risk management for water-related infectious disease: an overview. In: BARTRAM, J.; FEWTREL, L. (Eds.). *Water quality: guidelines, standards and health – assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. pp. 161-183. London: World Health Organization, IWA Publishing, 2001. 412p.

BARTRAM, J.; CORRALES, L.; DAVISON, A.; DEERE, D.; DRURY, D.; GORDON B.; HOWARD, G.; RINEHOLD, A.; STEVENS, M. (2009). *Water safety plan manual: step-by-step management for drinking-water suppliers*. Geneva, World Health Organization. (2009). 102p.

BATALHA, B.H.L. e PARLATORE, A.C. (1977). *Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais*. São Paulo: CETESB, 1977. 189p.

BATALHA, B.H.L. e PARLATORE, A.C (1979). Fundamentos para o controle da qualidade da água nos sistemas públicos de abastecimento. In: CENTRO AMERICANO SOBRE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES, 1979, São José. *Seminário...* São José: Organizacion Panamericana de La Salud,.

BENFORD, D. (2001). *Principles of risk assessment of food and drinking water related to human health*. Washington: International Life Sciences Institute. 35p. (ILSI Europe Concise Monograph Series).

BESNER, M.C.; GAUTHIER, P.S.; CAMPER A. (2002). Explaining the occurrence of coliforms in distribution systems. *Journal of the American Water Works Association*, v.94, n.8, p.95-109, 2002.

BOUCHARD, D.C.; WILLIAMS, M.K.; SURAMPALLI, R.Y (1992). Nitrate contamination of groundwater: sources and potential health effects. *Journal of the American Water Works Association*, v.84, n.9, p.84-90, 1992.

BRANCO, S. M. e ROCHA, A. A. (1977). *Poluição, proteção e usos múltiplos de represas*. São Paulo: Edgard Blücher, CETESB, 1977. 185p.

BRANCO, S.M. (1986). *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 3.ed. São Paulo: CETESB/AECETESB, 1986.

BRASIL (1975). Ministério da Saúde. *Decreto n°. 76.872 de 22 de dezembro de 1975*. Regulamenta a Lei N°. 6.050, de 24 de maio de 1974, que dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas públicos de abastecimento. Brasília.

BRASIL (1977). Ministério da Saúde. *Decreto n°. 79.367 de 09 de março de 1977*. Dispõe sobre as normas e o padrão de potabilidade de águas e dá outras providências. Brasília.

BRASIL (1978a). Ministério do Trabalho e Emprego. *Portaria n°. 3.214 de 08 de junho de 1978*. Aprova as normas regulamentadoras – NR – do capítulo V do título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. Brasília.

BRASIL (1978b). Ministério da Saúde. Portaria n° 443/Bsb, de 03 de outubro de 1978. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 03 out. Poder Executivo.

BRASIL (1990). Ministério da Saúde. Portaria n° 36/Bsb., de 19 de janeiro de 1990. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 21 jan. 1990. Seção 1, p.10.

BRASIL (2004). Ministério da Saúde. Portaria n° 518, de 25 de março de 2004. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 25 mar. 2004. Seção 1, p.266-270.

BRASIL (2005a). *Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano*. Brasília, 2005a. 123p. (Série C. Projetos, Programas e Relatórios).

BRASIL (2005b). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. *Comentários sobre a Portaria MS n.º 518/2004: subsídios para implementação*. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde. 91p.

BRASIL (2006). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Guia de boas práticas em sistemas de abastecimento de água*. Brasília, 2006. 247p.

BRASIL (2007). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Inspeção sanitária em abastecimento de água*. Brasília, 2007. 86p.

BRILHANTE, O.M. e CALDAS, L.Q.A. (Coords.) (1999). *Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental*. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1999. 155p.

BRISCOE, J. (1984a) Intervention studies and the definition of dominant transmission routes. *American Journal of Epidemiology*, v.120, n.3, p.449-455.

BRISCOE, J. (1984b). Water supply and Health in developing countries: selective primary health care revisited. *American Journal of Public Health*, v.74, n.9, p.1009-1013.

BRISCOE, J. (1987). Abastecimiento de agua y servicios de saneamiento; su función en la revolución de la supervivencia infantil. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, v.103, n.4, p.325-339.

BUTTERFIELD, C.T. e WATTIE, E. (1946). Influence of pH and temperature on survival of coliforms and enteric pathogens when exposed to chlorine. *Public Health Report*, p.61-157.

CAIRNCROSS, S. (1987). The benefits of water supply. In: PICKFORD, J. (Ed.). *Developing world water*. London: Grosvenor Press, 1987. P.30-34.

CAIRNCROSS, S. (1989). Water supply and sanitation: an agenda for research. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v.92, p.301-314.

CAIRNCROSS, S. (1990). Health impacts in developing countries: new evidences and new prospects. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, v.4, n.6, p.571-577.

CAIRNCROSS, S.; KINNEAR, J. (1993). Elasticity of demand for water in Khartoum, Sudan. *Social Science and Medicine*, v.34, n.2, 183-189.

CAIRNCROSS, S.; FEACHEM, R. (1993). *Environmental health engineering in the tropics: an introductory text*. 2.ed. Chichester: John Wiley and sons, 283p.

- CAIRNCROSS, S. (1997). Modelos conceituais para a relação entre a saúde e o saneamento básico. In: HELLER, L.; SANTOS MORAES, L.R.; MONTEIRO, T.C.N.; SALLES, M.J.; ALMEIDA, L.M.; CÂNCIO, J. (Orgs.). *Saneamento e saúde nos países em desenvolvimento*. Rio de Janeiro: CC&P Editores, 1997. p.169-183.
- CAIRNCROSS, S.; O'NEILL, D.; McCOY, A.; SETHI, D. (2003). *Health, environment and the burden of disease: a guidance note*. London: Department for International Development.
- CAMPER, A.K. (1996). *Factors limiting growth in the distribution system: laboratory and pilot studies*. Denver: AWWARF, AWWA.
- CANADÁ (1993). Ministry of Health Ministry of Supply and Services. *Health risk determination: the challenge of health protection*. Ottawa, 72p.
- CARDELLA, B. (1999). *Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística*. São Paulo. Editora Atlas. 254p.
- CARMO LUIZ, O. e COHN, A. (2006). Sociedade de risco e risco epidemiológico. *Cadernos de Saúde Pública*, v.22, n.11, p.2339-2348.
- CARMO, R.F.; BEVILACQUA, P.D.; XAVIER BASTOS, R.K. (2008). Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.13, n.4, p.426-434.
- CCME - CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (2002). *From source to tap: the multi-barrier approach to safe drinking water*. Winnipeg, 11p.
- CCME - CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - (2004). *From source to tap: the multi-barrier approach to safe drinking water*. Winnipeg, 242p.
- CDC (2000). *Safe water systems for the developing world: a handbook for implementing household-based water treatment and safe storage projects*. Atlanta, 2000. 218p.

CETESB (2003). *Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos*. Manual P4.261. São Paulo: Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 60p.

CETESB (2006). *Gerenciamento de risco*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/riscos/estudo/etapas_programa.asp>. Acesso em: 10 abr.

CHEUNG, P.B. e RIBEIRO REIS, L.F. (2007). Gerenciamento de água em sistemas de distribuição – técnicas computacionais. In: GOMES, H.P.; GARCIA, R.P.; IGLESIAS REY, P.L. (Orgs.). *Abastecimento de água: o estado da arte e técnicas avançadas*. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, p.9-28.

CHOI, J.; FADEL, M.; GAMMIE, L.; RAHAMAN, J.; PARAN, J. (1994). Sniff new mains...before customers complain. *Opflow*, v.20, n.10, p.3, 1994.

CODEX ALIMENTARIUS. (2008) *Sobre o Codex Alimentarius*. Disponível em: <http://www.codexalimentarius.net/web/index_en.jsp>. Acesso em: 29 dez.

COLBOURNE, J.S.; PRATT, D.J.; SMITH, M.G.; FISHER-HOCH, S.P.; HARPER, D. (1984). Water fittings as sources of *Legionella pneumophila* in hospital plumbing system. *Lancet*, v.i, p.210-213.

COMUNIDADE EUROPÉIA – CE. (2008). *Princípio de precaução*. 2008. Disponível em: <<http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/132042.htm>>. Acesso em: 18 maio 2008.

CONEJO, J. G. L.; LOPES, A. R. G.; MARCKA, E. (1999). *Recomendações Gerais e Normas de Referência para Controle de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento do Programa*. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Presidência da República. (Documentos Técnicos de Apoio – C1).

COOPER, N.R.; BLAKEY, R.; SHERWIN, C.; TA, T.; WHITE, J.; WOODWARD, C.A. (2004). The use of GIS to develop a probability based trunk mains burst risk model. *Urban Water*, v.2, p.97-103.

CORVALÁN, C.F.; KJELLSTRÖM, T.; SMITH, K.R. (1999). Health, environment and sustainable development. identifying links and indicators to promote action. *Epidemiology*, v.10, n.5, p.656-660.

COSTA E SILVA, R.J.; MATOS, J.; HALLACK, P.L.I. (1991). Mapeamento das anomalias nas redes de distribuição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16., Goiânia. *Anais.....* Goiânia, 1991. p.520-34.

COVAS, D. e RAMOS, H. (1998). A utilização de válvulas redutoras de pressão no controlo e redução de fugas em sistemas de distribuição de água. In: Encontro Nacional de Saneamento Básico, 8., Barcelos. *Proceedings...* Barcelos: APSB.

COVAS, D. (2007). Minimização de perdas de água em sistemas de abastecimento. In: GOMES, H.P.; GARCIA, R.P.; IGLESIAS REY, P.L. (Orgs.). *Abastecimento de água: o estado da arte e técnicas avançadas*. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB.

COVELLO, V.T. e MUMPOWER, J. (1985). Risk analysis and risk management: an historical perspective. *Risk Analysis*, v.5, p.103-120.

CRAUN, G.F. (1981). Outbreaks of waterborne disease in the United States: 1971–1978. *Journal of the American Water Works Association*, v.73, n.7, p.360-369.

CRAUN, G.F.; BERGER, P.S.; CALDERON, R.L. (2001). Coliform bacteria and waterborne disease outbreaks. *Journal of the American Water Works Association*, v.89, n.3, p.96-104.

CRAUN, G.F. e CALDERON, R.L. (2001). Waterborne Disease Outbreaks Caused by Distribution System Deficiencies. *Journal of the American Water Works Association*, v.93, n.9, p.64-75.

CULLINANE JUNIOR, M.J. (1989). *Methodologies for the evaluation of water distribution system reliability/availability*. Ph.D. Dissertation. University of Texas at Austin. s.p.

CUTLER, D. e MILLER, G. (2008). The role of public health improvements in health advances: the 20th century United States. National Bureau of Economic Research. Harvard University. 2004. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w10511>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

CVJETANOVIC, B. (1986). Health effects and impact of water supply and sanitation. *World Health Statistics Quarterly*, v.39, p.105-117.

DALLARI, S.G. e LIMA VENTURA, D.F. (2002). O princípio da precaução – dever do Estado ou protecionismo disfarçado? *São Paulo em Perspectiva*, v.16, n.2, p.53-63, 2002.

DAVISON, A., HOWARD, G., STEVENS, M., CALLAN, P., KIRBY, R., DEERE, D. e BARTRAM, J. (2002). *Water safety plans. Protection of the human environment. Water, sanitation and health*. Geneva: World Health Organization. (WHO/SDE/WSH/02.09). 50p.

DAVISON, A.; HOWARD, G.; STEVENS, M.; FEWTRELL, L.; DEERE., D.; CALLAN, P.; BARTRAM, J. (2004). *Water safety plans*. Geneva: World Health Organization.

DE CICCO, F.M.G.A.F. e FANTAZZINI, M.L. (1994). Financiamento de riscos. *Proteção*, n.6, supl. esp.

DEERE, D.; STEVENS, M.; DAVISON, A.; HELM, G.; DUFOUR, A. (2001). Management strategies. In: BARTRAM, J.; FEWTREL, L. (Eds.). (2001). *Water quality: guidelines, standards and health – assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. London: World Health Organization, IWA Publishing, p.257-288.

DEPARTMENT OF HEALTH AND AGEING AND ENHEALTH COUNCIL (2004). *Environmental health risk assessment: guidelines for assessing human health risks from environmental hazards*. Austrália. Disponível em: <<http://enhealth.nphp.gov.au/council/pubs/pubs.html>>. Acesso em: 20 jan. 2007.

DEWETTINCK, T.; VAN HOUTTE, E.; GEENENS, D.; VAN HEGE, K.; VERSTRAETE, W. (2001). Hazard analysis and critical control point (APPCC) to guarantee microbial safe water reuse and drinking water production: a case study. *Water Science and Technology*, v.43, n.12, p.31-38, 2001.

DODERLEIN, J.M. (1987). Risk and decisions: introduction. In: SINGLETON, W.T.; HOVDEN, J. *Risk and decisions*. Chichester: John Willey & Sons, p.1-8.

DOUGLAS, M. (1990). Risk as a forensic resource. *Journal of the American Academy of Arts Science*, v.4, p.1-16.

DRINKING WATER INSPECTORATE. (2005). *A brief guide to drinking-water safety plans*. London, 2005.

DYKSEN, J. (1997). Distribution system reliability. In: _____. *Managerial assessment of water quality and system reliability*. Denver: American Water Works Association Research Foundation.

ESREY, S.A.; POTASH, J.B.; ROBERTS, L.; SHIFF, C. (1990). *Health benefits from improvements in water supply and sanitation: survey and analysis of the literature on selected diseases*. Washington: Office of Health, Bureau for Science and Technology, U.S. Agency for International Development, Agency for International Development. 82p. (Wash Technical Report, 66).

ESREY, S.A.; POTASH, J.B.; ROBERTS, L.; SHIFF, C. (1991). Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhea, dracunculiasis, hookworm infection, schistosomiasis, and trachoma. *Bulletin of the World Health Organization*, v.69, n.5, p.609-621.

ESREY, S.A. (1996). Water, waste, and well-being: a multicountry study. *American Journal of Epidemiology*, v.143, n.6, p.608-623.

EVINS, C. (2004). Small animals in drinking-water distribution systems. In: AINSWORTH, R. *Safe piped water: managing microbial water quality in Piped Distribution Systems*. London: IWA Publishing.

EXNER, M. e KISTEMANN, T. (2003). Is there a need for a better drinking-water quality management? In: _____. *Water safety – conference abstracts*. Berlin: Federal Environmental Agency.

FEACHEM, G.; BRADLEY, D.J.; GARELICK, H.; DUNCAN, M.D. (1983a). *Sanitation and Disease: health aspects of excreta and wastewater management – world bank studies in water supply and sanitation 3*. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington, D.C.: John Wiley & Sons.

FEACHEM, R.G. (1983b). Infections related to water and excreta: the health dimension of the decade. In: BERNARD, J. (Ed.). In: *Water supply and sanitation in developing countries*. London: The Institution of Water Engineers and Scientists. p.25-46.

FERRIE, J.P. e TROESKEN, W. (2007). *Death and the city: Chicago's mortality transition, 1850-1925*. Harvard: Harvard University, National Bureau of Economic Research, 2005. Disponível em: <<http://nber.org/papers/w11427>>. Acesso em: 10 jan. 2007.

FEWTRELL, L. e BARTRAM, J. (2001). *Water quality: guidelines, standards and health*. London: IWA Publishing. 412p.

FEWTRELL, L. (2004). Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, e global burden of disease: as discussion. *Environmental Health Perspectives*, v.112, n.14, p.1371-1374.

FIGUEIREDO LIMA, A. (1960). *Água potável e saúde*. Tese (Concurso para a cadeira de Higiene Geral e dos Edifícios, Higiene Industrial, Saneamento e Urbanismo) - Escola de Engenharia, Universidade do Recife, Recife. 259p.

FORATTINI, O.P. (1980). *Epidemiologia geral*. São Paulo: Livrarias Artes Médicas. 259p.

FOSTER, S. e HIRATA, R. (1993). *Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas*. Um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico. 92p. (Boletim, n.10).

FREITAS, C.M. (2002). Avaliação de riscos como ferramenta para a vigilância ambiental em saúde. *Informe Epidemiológico do SUS*, v.11, n.4, p.227-239.

FREITAS, M.B. e FREITAS, C.M. (2005). A vigilância da qualidade da água para consumo humano – desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.10, n.4, p.993-1004.

FUNDACENTRO (2001). *Introdução à Higiene Ocupacional*. São Paulo: Ministério do Trabalho e Emprego, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. 85p.

GELDREICH, E.E. (1990). Microbiological quality control in distribution systems. In: _____. *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies* 4.ed. New York: McGraw Hill, p.18.1-49.

GELDREICH, E.E. (1996). *Microbial quality of water supply in distribution systems*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 504p.

- GODFREY, S.; NIWAGABA, C.; HOWARD, G.; TIBATEMWA, S. (2002). *Water safety plans for developing countries: a case study from Kampala, Uganda*. London: Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University.
- GODFREY, S. e HOWARD, G. (2004). *Water Safety Plans (WSP) for urban piped water supplies in developing countries*. United Kingdom: WEDC, 2004.
- GODFREY, S. e HOWARD, G. (2005a). *Water safety plans: book 1 – planning water safety management for urban piped water supplies in developing countries*. London: Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University.
- GODFREY, S. e HOWARD, G. (2005b). *Water safety plans: book 2 – supporting water safety management for urban piped water supplies in developing countries*. London: Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University.
- GOLDING, D. (1992). A social and programmatic history of risk research. In: KRIMSKY, S.; GOLDING, D. (Eds). *Social theories of risk*. London: Praeger, p.23-52.
- GOMES, H.P. (2004). *Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico*. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB.
- GOMES, L.F.A.; ARAYA, M.C.G.; CARIGNANO, C. (2004). *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 169p.
- GRAY, N.F. (2008). *Drinking water quality: problems and solutions*. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 520p.
- GREENLAND, S. (1984). Bias in methods for deriving standardized morbidity ratio in and attributable fraction estimates. *Statistics in Medicine*, v.3, p.131-141, 1984.
- GREAT LAKES UPPER MISSISSIPPI RIVER BOARD OF STATE PUBLIC HEALTH AND ENVIRONMENTAL MANAGERS (1997). *Recommended standards for water works*. New York: Health Education Services.
- HAMMER, W. (1993). *Product safety management and engineering*. 2.ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 324p.
- HAAS, C.N.; ROSE, J.B.; GERBA, C.; REGLI, S. (1993). Risk assessment of virus in drinking water. *Risk Analysis*, v.13, n.5, p.545-552.

- HAAS, C.N.; CROCKETT, C.; ROSE, J.B.; GERBA, C.; FAZIL, A. (1996). Infectivity of *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Journal of the American Water Works Association*, v.88, n.9, p.131-136.
- HAAS, C. e EISENBERG, J.N.S. (2001). Risk assessment. In: BARTRAM, J.; FEWTREL, L. (Eds.). *Water quality: guidelines, standards and health – assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. London: World Health Organization, IWA Publishing, 2001. p.161-183.
- HAVELAAR, A.H.; SCHETS, F.M.; VAN SILFHOUT, A.; JANSEN, W.H.; WIETEN, G.; VAN DER KOOIJ, D. (1992). Typing of *Aeromonas* strains from patients with diarrhea and from drinking water. *Journal of Applied Bacteriology*, v.72, n.5, p.435-444.
- HAVELAAR, A.H. (1994). Application of HACCP to drinking water supply. *Food Control*, v.5, n.3, p.145-152.
- HELLARD, SINCLAIR. M.I., FORBES. A.B., FAIRLEY. C.K. (2001). A randomised, blinded, controlled trial investigating the gastrointestinal health effects of drinking water quality. *Environmental Health Perspectives*, v.109, n.8, p.773-778.
- HELMAN, H. e ANDERY, P.R.P. (1995). *Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA – FTA*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia, UFMG. 156p. (Séries Ferramentas da Qualidade).
- HELLER, L. (1997). *Saneamento e saúde*. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde, 102p.
- HERZ, R. (1998). Exploring rehabilitation needs and strategies for water distribution networks. *Aqua*, v.47, n.6, p.275-283.
- HERZ, R. e LIPKOW, A. (2002). Life cycle assessment of water mains and sewers. *Water, Science and Technology*, v.2, n.4, p.51-72.
- HIDRÓPOLIS (1997). *Projeto executivo do sistema de abastecimento de água do município de Itatinga*. Campinas: SABESP/ESCRITÓRIO TÉCNICO HIDRÓPOLIS-CTRI S/C LTDA. v.1.

HOWARD, G. (2002). *Water supply surveillance: a reference manual*. Water, Engineering and Development Centre. Loughborough: Loughborough University, 236p.

HOWARD, G., VAIRAVAMOORTHY. K., GODFREY. S. (2002). *Improved risk assessment and management in urban piped water supply – Inception report*, WEDC, UK. Disponível em <<http://www.lboro.ac.uk/watermark/reports/iram-IR-contents.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2008.

HOWARD. G. e BARTRAM J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. WHO/SDE/WSH/03.02. WHO. Geneva. Disponível em http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf. Acesso em: 23 de abril de 2007.

HRUDEY S.E. (2004). Drinking-Water risk management principles for a total quality management framework. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*. Taylor and Francis Ltd. v.67, n.20-22, p.1555-1566.

HRUDEY S.E., HRUDEY E.J. e POLLARD S.J.T. (2006). *Risk management for assuring safe drinking water*. Environment International - Environmental Risk Management - the State of the Art. v.32, n.8, p.948-957.

HUEB, J. A. (1985). *Control de Fugas en los Sistemas de Distribucion de Agua Potable*. Manual DTIAPA No. C-7. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Programa de Proteccion de la Salud Ambiental. Lima. Peru. 371p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2000). *Censo Demográfico 2000*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/população/censo2000/default.shtm>. Acesso em: 20 de Junho de 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2008). *Perfil dos Municípios Brasileiros*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 20 de Junho de 2008.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo (Escala 1:500.000)*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo.

JIMÉNEZ, P.A.L (2007). Análisis Sobre la Calidad del Agua de Suministro en España. In: *Abastecimento de Água – O estado da arte e técnicas avançadas*. Gomes H.P., Garcia R.P., Iglesias Rey, P.L. (org.). João Pessoa: Editora Universitária – UFPB. KALBERMATTEN, J.M.; JULIUS, D. S. e GUNNERSON, C.G. (1980). *Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation – Technical and Economic Options*. World Bank, December. Washington.

KACLOCK, R.J.; DASTON, G.P.; DeROSA, C.; FENNER-CRISP, P.; GRAY, E.; KAATTARI, S., LUCIER, G.; LUSTER, M.; MAC, M.; MACKZA, C.; MILLER, R., MOORE, J.; ROLLAND, R.; SCOTT, G., SHEENAN, D.M.; SINKS, T.; TILSON, H.A. (1996). Research Needs for the Risk Assessment of Health and Environmental Effects of Endocrine Disruptors: A Report of the U.S. EPA-sponsored Workshop. *Environmental Health Perspective*. v.1, sup.4, p1-26.

KAZTMAN, R.; BECCARIA, L.; FILGUEIRA F.; GOLBERT, L.; KESSLER, G. (1999). *Vulnerabilidad, activos e exclusión en Argentina y Uruguay*. Santiago de Chile: OIT.

KERR, C., JONES J. e HILLIER R., (2000). Statistical Evaluation of Adhesion of a Bioluminescent *Pseudomonas* to Thermoanox in a Modified Robbins Device. *Biofouling*. v.14, n.4, p. 267-277.

KIENE, L.; LU, W. e LEVI, Y. (1998). Relative importance of the Phenomena Responsible for Chlorine Decay in Drinking-Water Distribution Systems. *Water, Science and Technology*. v.38, n.6, p. 216-227.

KIERMEYER, G.J.; FRIEDMAN, M.; MARTEL, K.; HOWIE, D.; LeCHEVALLIER, M.; ABBASZADEGAN, M.; KARIM, M. (2001). *Pathogen Intrusion Into the Distribution System*. AWWA Research Foundation and the American Water Works Association, Denver, CO.

KIRCHHOFF, D. (2004). *Avaliação de Risco Ambiental e o Processo de Licenciamento: O caso do gasoduto de distribuição gás brasileiro trecho São Carlos*

– Porto Ferreira. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

KIWA WATER RESEARCH (2003). *The interaction between risk assessment (QMRA) and risk management in the Water Safety Plan*. Risk Assessment & Management framework. Microrisk, Nieuwegein, The Netherlands.

KJELLSTRÖM T. e CORVALÁN C. (1995). *Framework for the development of environmental health indicators*. World health statistics quarterly, n.48, p144-154.

KRIMSKY S. e GOLDING D. (eds.) (1992). *Social Theories of risk*. London: Praeger.

KURODA, E.K e PÁDUA V.L. (2006). *Tubulações e acessórios*. In: *Abastecimento de água para consumo humano*. In: *Abastecimento de Água para consumo humano*. HELLER, L e PÁDUA V.L. (orgs.). Belo Horizonte. Editora UFMG. p.683-738.

LANDI, F.D.N. (1999). *Código de Práticas de Projeto e Execução de Ramais Prediais de Água em Polietileno*. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA. Documento Técnico de Apoio nº F4. Brasília.

LANGLEY, A. e VAN ALPHEN, M. (eds) (1993). *Proc. 2nd. National Workshop on the Health Risk Assessment and Management of Contaminated Sites*. South Australian Health Commission, Adelaide.

LeCHEVALLIER M.W. (1990). Coliform regrowth in drinking water: a review. *Journal of the American Water Works Association*, v.82, p.74-86.

LeCHEVALLIER M.W. (1999a). Biofilms in drinking water distribution systems: significance and control. p.206-219. In: *Identifying future drinking water contaminants*. National Academy Press. Washington, DC

LeCHEVALLIER M.W. (1999b). The Case for Maintaining a Disinfectant Residual. *Journal of the American Water Works Association*, v.91, n.1, p.86-94.

LeCHEVALLIER, M.W.; GULICK, R.W.; e KARIM M. (2002). *The Potential for Health Risks from Intrusion of Contaminants into the Distribution System from Pressure Transients – Distribution System White Paper*. Disponível em: <<http://www.epa.gov.br/safewater/tcr/tcr.html>>. Acesso em: 25 de março de 2008.

LeCHEVALLIER M.W. (2003). The potential for health risks from intrusion of contaminants into the distribution system from pressure transients. *Journal of Water and Health*, v.1, n.1, p.3–14.

LEI J. e SUENUNG S. (1998). Statistical Approach for Describing Failures and Lifetimes of Water Mains. *Water Scienc and Technology*. v.38. n.6, p.209-217.

LEVI, Y. (2004a). Minimizing potential for changes in microbial quality of treated water. In: *Safe Piped Water: managing microbial water quality in Piped Distribution Systems*. Editado por Richard Ainsworth. IWA Publishing. London, UK.

LEVI, C. (2004b). Small animals in drinking-water distribution systems. In: *Safe Piped Water: managing microbial water quality in Piped Distribution Systems*. Ed. Richard Ainsworth. IWA Publishing. London, UK.

LIMA FILHO, R.A. (1978). *Reservatório domiciliar: aspectos de sua influencia na qualidade da água*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.

LNEC – LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (2002). *EPANET 2.0 em Português*. Disponível em: <<http://www.dha.lnec.pt/nes/epanet/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2008. Lisboa.

LNEC – LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (2004). *EPANET 2.0 em Português*. Simulação hidráulica e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água. Manual do Utilizador. Versão publicada em 06/09/2004. Lisboa. Disponível em: <<http://www.dha.lnec.pt/nes/epanet/downloads/EN2Pmanual.pdf>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2008.

LUCCHESI, G. (2001). *Globalização e regulação sanitária: os rumos da vigilância sanitária no Brasil*. Tese (Doutorado). Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro.

MACLER, B.A e REAGLI S. (1993). Use of microbial risk assessment in setting United States drinking water standards. *International Journal of Food Microbiology*. v.18, n.4, p.245-256.

MAGALHÃES, A.J.L. (2002). A atenção primária a saúde e o Programa de Saúde da Família: Perspectivas de Desenvolvimento no Início do Terceiro Milênio. *Revista Mineira de Saúde Pública*. Belo Horizonte. v.1, n.1, p.1-16.

MAGALHÃES, C.A.C.; MORENO, J.; GALVÃO JÚNIOR, A.C (2001). *Estimativa do Consumo Per Capita em comunidades atendidas pela Unidade de Negócio do Médio Tietê*. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais....

MARCKA, E. (2004). *Panorama dos Sistemas Públicos de Abastecimento no País*. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Presidência da República. (Documentos Técnicos de Apoio – C2).

MARTINS, J.A. (1966). *Limites de velocidade e Pré-Dimensionamento de Conduitos Principais das Redes de Distribuição de Água Potável. Condições de Mínimo Custo*. Tese (Cátedra). Faculdade de Higiene e Saúde Publica, Universidade de São Paulo.

MARTINS, J.A. (1987). *Reservatório de Distribuição de Água*. In Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. v. 1, 3ª ed., CETESB/ASCETESB, São Paulo. p.427-456.

MARTINI, J.L.C. (1998). A comunicação de risco na emergência. *Revista Saneamento Ambiental*. V.5, n.49, p 46-50.

MAYS, L.W. ed. (2000). *Water Distribution Systems Handbook*. Mc Graw Hill. New York. 728p.

MEDEMA, G.J.; PAYMENT, P.; DUFOUR, A.; ROBERTSON, W.; WAITE, M.; HUNTER, P.; KIRBY, R. e ANDERSON, Y. (2003). Safe drinking-water: an ongoing challenge. In: *Assessing Microbial Safety of Drinking-water- Improving approaches and methods*. IWA Publishing. London, UK.

MEDEMA, G.J. e SMEETS, P. (2004). *The interaction between Quantitative Microbial Risk Assessment and risk management in the Water Safety Plan*. Microrisk project report, February 2004. Kiwa Water Research, Nieuwegein, the Netherlands.

MELSE, J.M. e de HOLLANDER, A.E.M. (2001). *Environment and health within the OECD region: lost health, lost money. Background document to the OECD Environmental Outlook*. Bilthoven, RIVM, National Institute of Public Health and the Environment, Disponível em: <<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/4021010001.pdf>>, Acesso em: 10 jul. 2008.

MIETTINEN O.S. (1974). Proportion of disease caused or prevented by a given exposure, trait or intervention. *American Journal of Epidemiology*, v.10, n.99, p.325—332.

MONTEIRO DE ABREU, L., GRANEMANN S.R., GARTNER I. e BERNARDES R.S. (2000). Escolha de um Programa de Controle de Qualidade da Água para Consumo Humano: Aplicação do Método AHP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande. v.4, n.2, p.257-262.

MORENO, J. (1995). *Avaliação sanitária das captações e reservatórios de água em pequenas comunidades rurais da região de Bauru-SP*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MORSE, L.J.; BRIAN, J.A.; HURLEY, J.P.; MURPHY, J.F.; O'BRIEN, T.F.; WACKER, W.E. (1972). The Holy Cross College football team hepatitis outbreak. *Journal of the American Medical Association*, v.219, n.6, p.706–708.

MORTIMORE, S. e WALLACE, C. (2001). *APPCC Enfoque Práctico*. Edictorial Acribia S.A., 2ª. edición Zaragoza. Espana. 427p.

MURRAY, C. J. L. e LOPEZ, A.D. (1996). *The Global Burden of Disease and Injury Series. Volume 1. The Global Burden of Disease. A comprehensive assessment of mortality and disability from diseases injuries, and risk factors in 1990 na projected to 2020*. Harvard School of Public Health, World Bank, World Health Organization.

NARDOCCI, A. C. (1999). *Risco como Instrumento de Gestão Ambiental*. Tese (Doutorado). Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo.

NEW ZEALAND (2001a). *Public Health Risk Management Plan Guide – Distribution System – System Pressure – version 1, Ref. D2.2*. Wellington. New Zealand. Disponível em: <<http://moh.govt.nz>>. Acesso em: 10 de julho de 2006.

NEW ZEALAND (2001b). *Public Health Risk Management Plan Guide – Distribution System – Operation – version 1, Ref. D2.3*. Wellington. New Zealand. Disponível em: <<http://moh.govt.nz>>. Acesso em: 10 de julho de 2006.

NEW ZEALAND (2001c). *Public Health Risk Management Plan Guide – Distribution System – Backflow Prevention – version 1, Ref. D2.4*. Wellington. New Zealand. Disponível em: <<http://moh.govt.nz>>. Acesso em: 10 de julho de 2006.

NEW ZEALAND (2005a). *A Framework on How to Prepare and Develop Public Health Risk Management Plans for Drinking-water Supplies*. Wellington. New Zealand. Disponível em: <<http://moh.govt.nz>>. Acesso em: 10 de julho de 2006.

NEW ZEALAND (2005b). *Small Drinking-water Supplies – Preparing a Public Health Risk Management Plan*. Wellington. New Zealand. Disponível em: <<http://moh.govt.nz>>. Acesso em: 10 de julho de 2006.

NEW ZEALAND (2005c). *Small Drinking-water Supplies – Preparing a Public Health Risk Management Plan*. . Disponível em: <<http://moh.govt.nz>>. Acesso em: 10 de julho de 2006.

NOKES, C. e TAYLOR, M. (2003). Towards public health risk management plan implementation. In: *Water Safety Conference Abstracts*. Umweltbundensamt, text 74/03. Berlin.

NRC (1983). *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process Working Papers*. Washington, DC.: National Academy Press. 191p.

NRC (2005). *Public Water Supply Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks – First Report*. Washington, D.C. The National Academies Press. 58p.

NRC (2006). *Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks*. Washington, D.C. The National Academies Press. 404p.

O’CONNOR, D. R. (2002a). *The Walkerton Inquiry. Walkerton*. Ministry of Health. Part One. Canadá.

O’CONNOR, D. R. (2002b). *The Walkerton Inquiry. Walkerton*. Ministry of Health. Part Two. Canadá.

OLIVEIRA, W. E. (1987). Importância do Abastecimento de Água – A Água na Transmissão de Doenças. In: *Técnica de Abastecimento de Água*. Capítulo 1. CETESB/ASCETESB. 2ª, edição rev., São Paulo. p.1-28.

ONUSIDA (1998). *Análise de custo-eficácia e HIV/SIDA*. Coleção Boas Práticas da ONUSIDA. Programa conjunto das Nações Unidas para o HIV/SIDA. Disponível em: <<http://unaid.org>>. Acesso em: 20 de agosto de 2008.

OPS – ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (1977). *Vigilancia de la calidad del agua potable*. Ginebra: Organización Panamericana de la Salud. (Serie de Monografias n. 63). 145p.

OPS – ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (2001a). *Guias para la Vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima.

OPS – ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (2001b). *Água e Saúde*. Organização Panamericana de Saúde. Disponível em: <<http://www.opas.org.br/sistema/fotos/agua.pdf>>. Acesso em 05 de dezembro de 2008.

PAYMENT, P.; SIEMIATYCKI, J.; RICHARDSON, L.; RENAUD, G.; FRANCO, E.; PREVOST, M. (1977). A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to consumption of drinking water. *International Journal of Environmental Health Research*, v.7, n.5, p.5-31.

PAYMENT P.; RICHARDSON, L.; SIEMIATYCKI J.; DEWAR R.; EDWARDES . e FRANCO E. (1991). A Randomized Trial to Evaluate the Risk of Gastrointestinal Disease Due to Consumption of Drinking Water Meeting Current Microbiological Standards. *American Journal Public Health*, 81:703-708.

PAYMENT P. e ROBERTSON W. (2004). The microbiology of piped distribution systems and public health. In: *Safe Piped Water: managing microbial water quality in Piped Distribution Systems*. Ed. Richard Ainsworth. IWA Publishing. London, UK.

PEPE RAZZOLINI, M.T. e NARDOCCI, A.C. (2006). Avaliação de Risco Microbiológico: Etapas e sua aplicação na análise da qualidade da água. *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*. São Paulo. v.1, n.1, n.2.

- PEPE RAZZOLINI, M.T. e RISSO GÜNTER, W.M. (2008). Impactos na Saúde das Deficiências de Acesso a Água. *Saúde Coletiva*. São Paulo, v.17, n. 1, p.21-32.
- PEREIRA, P.C.B. e BÁGGIO, M.A. (1997). Gerenciamento da Rotina de Trabalho do dia-a-dia do Processo Operação de Sistemas de Abastecimento de Água: A Fase de Projeto. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Anais...* Campo Grande.
- PIERSON, G.L.; BURLINGAME, G. e MARTIN, K. (2002). Distribution Systems Establishing a Tradition of Contamination Prevention. *Opflow*. v.28, n.7, p6-11.
- PIRES, R.M., BURGER, M.S.; MOLL, J.N. (2001). Diagnóstico de Perdas em Ramal Predial e nas redes com tubos de PVC com enfoque na performance de materiais. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Anais...* João Pessoa.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (2008). *Introdução aos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio*. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/odm/#documentos>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2008.
- PORTO, R. M. (2000). *Hidráulica Básica*. 2. ed. Projeto REENGE, EESC-USP. São Carlos. 519p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAÇOIABA DA SERRA (2007). *Regulamento do Serviços de Abastecimento de Água e de Esgoto Sanitário*. Araçoiaba da Serra.
- PREM CHAND, A.M.; RAO, C.V.; KUMAR, R.; GODFREY, S. (2003). *Water Safety Plans for Utilities in Developing Countries – A Case Study from Guntur, India*. KAKTOS, Guntur, Índia.
- PRINCE, A.A. (2006). *Rede de Distribuição*. In: Abastecimento de água para consumo humano. HELLER, L e PÁDUA V.L. (orgs.). Belo Horizonte. Editora UFMG. p.603-661.
- PRÜSS, A. e HAVELAAR, A. (2001). The Global Burden of Disease study and applications. In water, sanitation and hygiene. In: *Water Quality: Guidelines, Standards and Health – Assessment of Risk and risk management for water-related infectious disease*. (eds. J. Bartram and L. Fewtrell) p.161-183. World Health Organization/IWA Publishing, London. UK.

PRÜSS, A.; KAY D.; FEWTRELL, L.; BARTRAM, J. (2002). Estimating the burden disease from water, sanitation and hygiene at a global level. *Environmental Health Perspectives*. v.110, n.5, p.537-542.

PRÜSS-ÜSTÜN A. e CORVALÁN C. (2006). *Preventing Disease through Healthy Environments - Towards an estimate of the environmental burden of disease*. World Health Organization. Geneva. Switzerland.100p.

RAJANI, B.B. e KLEINER, Y. (2001). Comprehensive review of structural deterioration of water mains: physically based models. *Urban Water*. v.3, n.3, p.151-164.

RAMAN, R. (1990). *Risk perceptions and problems in interpreting risks result*. 18th Australasian Chemical Engineering Conference CHEMECA '90. August, Auckland, New Zealand.

RANGEL, M. L. (2007). Comunicação no controle de risco à saúde e segurança na sociedade contemporânea: uma abordagem interdisciplinar. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.12, n.5, p.1375-1385.

RAUCHER, R.; AGRAS, J.; MILLS, D.; HARROD, M.; CHESTNUT, L.; BURMASTER, D.; CRAWFORD-BROWN, D.; COX, T. (1999). *Quantifying Public Health Risk Reduction Benefits*. American Water Works Association, Denver. p.347.

REGLI, S.; ROSE, J.B.; HASS, C.N.; GERBA, C.P. (1991). Modelling risk for pathogens in drinking water. *Journal of the American Water Works Association*. v.83, n.11, p.76-84.

RENN, O. (1992). Risk communication: Towards a rational discourse with the public. *Journal of Hazardous Materials*. Amsterdam. v.29, n.33, p.465-519.

ROBERGE, P.R. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw-Hill. P.1146.

ROCHA, L.R.; BARRETO, D.; CHAMA NETO, P.J. (2001). Aprimoramento dos Ramais Prediais em PEAD. 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Anais....* João Pessoa.

- ROSE, J.B.; HASS, C.N.; REGLI, S. (1991). Risk assessment and the control of waterborne giardiasis. *American Journal of Public health*. v.81, n.6, p.709-713. 1991.
- ROSEBERRY, A.M. e BURMASTER, D.E. (1992). Log-normal distributions for water intake by children and adults. *Risks Analysis*. v.12, n.1, p. 99-104.
- ROSEN, G. (1994). *Uma História da Saúde Pública*. Editoras Hucitec, UNESP e ABRASCO. São Paulo.
- ROSSIN, A.C. (1987). Desinfecção. In: *Técnicas de Abastecimento de Água. Volume 2 – Tratamento de Água*. São Paulo. CETESB/ASCETESB. p.274-302.
- ROSSIN, A.C. e OLIVEIRA SANTOS, J.S. (1994). Saneamento de Baixo Custo, uma tecnologia alternativa. *Revista Ambiente*. São Paulo. CETESB. V.1 , n.2, p.102-108.
- SABESP (1996). *Especificação Técnica, Regulamentação de Preços e Critérios de Medição*. SABESP, 2^a.edição, São Paulo.
- SABESP (2002). *Caderno de Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos Sanitário em loteamentos*. Diretoria de Serviços Regionais. SABESP. São Paulo.
- SABESP (2008a). *Dados Operacionais dos Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos Sanitários – 2008*. Superintendência de Planejamento Integrado. Departamento de Informações Empresariais. SABESP. São Paulo.
- SABESP (2008b). *Relatório de Gestão Empresarial. Índices de Atendimento dos Domicílios Urbanos*. Superintendência de Planejamento Integrado. Departamento de Informações Empresariais. SABESP. São Paulo.
- SABESP (2008c). *Cadastro Técnico da Rede de Distribuição de Água de Itatinga – Sede*. Divisão de Operações de Botucatu. Unidade de Negócio do Médio Tietê. Botucatu/SP.
- SABESP (2008d). *Solicitações de Serviços realizados em Itatinga durante o ano de 2008*. Divisão de Operações de Botucatu. Unidade de Negócio do Médio Tietê. Botucatu/SP.

SABESP (2008e). *Relatório sobre Perdas nos sistemas de abastecimento de água da Unidade de Negócio do Médio Tietê*. Departamento de Controle Operacional da Unidade de Negócio do Médio Tietê. Botucatu/SP.

SABESP (2008f). *Relatório sobre a Qualidade da Água para Consumo Humano nos sistemas de abastecimento de água da Unidade de Negócio do Médio Tietê*. Departamento de Controle Operacional da Unidade de Negócio do Médio Tietê. Botucatu/SP.

SAEGROV, S.; MELOBAPTISTE, J.; CONROY, P.; HERZ R.K.; LeGAUFFRE P.; MOSS G.; ODDEVALD, J.; RAJANI, B.B.; SCHIATTI M. (1999). Rehabilitation of Water Networks – Survey of Research Needs and On Going Efforts. *Urban Water*. v.22, n.15, p.15-22.

SANTOS S.L. (1990). Developing a Risk Communication Strategy. *Journal American Water Works Association*, v.82, n.11, p.45-49.

SÃO PAULO (2004). *Instrução Técnica No. 34/2004 – Hidrante Urbano*. Polícia Militar do Estado de São Paulo. Corpo de Bombeiros. Disponível em: <http://www.ccb.polmil.sp.gov.br/its/instrucao_tec.htm>. Acesso em: 20 de agosto de 2008.

SÃO PAULO (2008). *Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano – PRÓ-ÁGUA*. Centro de Vigilância Sanitária. Secretaria de Estado da Saúde. São Paulo.

SCHMOLL, O.; CHORUS, I. (2003). Why a new approach to “Water Safety”? In: *Water Safety Conference Abstracts*. Umweltbundensamt, text 74/03. Berlin.

SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (2004). *Projeções para o Estado de São Paulo – População e Domicílios até 2025*. SEADE / SABESP, São Paulo.

SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (2008a). *Perfil Municipal de Itatinga*. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>>. Acesso em: 20 de junho de 2008. São Paulo.

SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (2008b). *Índice Paulista de Vulnerabilidade Social*. Disponível em:

<http://www.seade.gov.br/produtos/ipvs/municipios_pdf.php>. Acesso em: 20 de junho de 2008.

SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE DE ITATINGA (2009). *Relatório sobre Casos de diarreia aguda ocorridos em Itatinga em 2008*. Itatinga/SP.

SHUVAL, H.I.; TILDEN, R.L.; PERRY, B.H.; GROSSE, R.N. (1981). Effect of investments in water supply and sanitation on health status: a threshold-saturation theory. *Bulletin of the World Health Organization*, v.59, n.2, p.243-248.

SIGRH - SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS (2007). *Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Médio Paranapanema UGRHI 17*. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-MP/1188/planobacia-mp-caderno.pdf>>. Acesso em: 01 de março de 2009.

SILVA AUGUSTO, L.G. e FREITAS, C.M. (1998). O Princípio da Precaução no uso de indicadores de riscos químicos ambientais em saúde do trabalhador. *Revista Ciência & Saúde Coletiva*. Rio de Janeiro. v.3, n.2, p.85-95.

SMITH, K.R.; CORVALÁN, F.C.; KJELLSTRÖM, T. (1999). How much ill health is attributable to environmental factors? *Epidemiology*, v.10, n.5, p.573-584. Disponível em: <http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/methods/en/smith.pdf>, Acesso em: 20 Mar. 2008.

SNOW, J. (1990). *Sobre a maneira de transmissão do Cólera*. HUCITEC-ABRASCO. 2ª. ed. Brasileira, revista e ampliada. São Paulo-Rio de Janeiro. 249p.

SOARES, S.R.A.; BERNARDES, R.S.; CORDEIRO NETTO, O.M. (2002). Relações entre Saneamento, Saúde Pública e Meio Ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. *Cadernos de Saúde Pública*. Rio de Janeiro. v.18, n.6, p.1713-1724.

SPINK, M.J. (2001). Tópicos do discurso sobre risco: risco-aventura como metáfora na modernidade tardia. *Cadernos de Saúde Pública*. Rio de Janeiro. v.17, n.6, p.1277-1311.

STARKO, K.M.; LIPPY, E.C.; DOMINGUEZ, L.B.; HARLEY, C.E.; FISHER, H.J. (1986). Campers' diarrhea outbreak traced to water-sewage link. *Public Health Reports*, v.101, n.5, p.527-31.

STEVENS, M.; McCONNELL, S.; NADEBAUM, P.R.; CHAPMAN, M.; ANANTHAKUMAR, S.; McNEIL, J. (1995). Drinking water quality and treatment requirements: A risk-based approach. *Water* 22, p.12-16.

STEVENS, M.; HOWARD, G.; DAVISON, A.; BARTRAM, J.; DEERE, D. (2004). Risk management for distribution system. In: *Safe Piped Water: managing microbial water quality in Piped Distribution Systems*. Richard Ainsworth (ed.). IWA Publishing. London, UK.

STEVENS, M.; ASHBOLT, N.; CUNLIFFE, D. (2003). *Recommendations to change the use of coliform as microbial indicators of drinking water quality*. National Health and Medical Research Council. Australia Government. Canberra. Disponível em: <<http://www.nhmrc.gov.au>>. Acesso em: 20 de maio de 2007.

SWAMEE P.K. (1993). Design of a submarine oil pipeline. *Journal of a Transportation Engineering*, v.119, n.1, p.159-170.

TA, T. (2002). A Probability Model for Burst Studies of Water Mains. *Water, Science and Technology – Water Supply*, v.2, n.4, p.29-35.

TAÍRA, N.N. (2007). Equipamentos de de Monitoramento e Controle de Redes. In: *Abastecimento de Água – O estado da arte e técnicas avançadas*. Gomes H.P., Garcia R.P., Iglesias Rey, P.L. (org.). Editora Universitária – UFPB. João Pessoa.

TARDELLI FILHO, J. (1977). *Fundamentos e Metodologia de Proteção aos Mananciais através do Disciplinamento do Uso e Ocupação do Solo*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

TARDELLI FILHO, J. (2004). Controle e Redução de Perdas. In: *Abastecimento de Água*. Tsutiya, M.T. (org.). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

TEUNIS, P.F.M., MEDEMA, G.H. e HAVELAAR, A.H. (1997). Assessment of the risk of infection by *Cryptosporidium* or *Giardia* in drinking water from a surface water source. *Water Research*. v.31, n.6, p.1333-1346.

THE PRESIDENTIAL/CONGRESSIONAL COMMISSION ON RISK ASSESSMENT AND RISK MANAGEMENT (1997). Framework for Environmental Health Risk Management: final report. Washington (DC); v.1.

THE PRESIDENTIAL/CONGRESSIONAL COMMISSION ON RISK ASSESSMENT AND RISK MANAGEMENT (1997). *Risk assessment and risk management in regulatory decision-making: final report*. Washington (DC); v.2.

TIBATEMWA, S.; GODFREY, S.; NABASURYE, L.; NIWAGABA, C. (2003). *Water Safety Plans for Utilities in Developing Countries – A Case Study from Jinja, Uganda*. Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University, UK.

TICKNER, J. e MYERS, N. (2008). *Manual sobre Princípio da Precaução*. 1ª. Ed. Disponível em: <<http://www.sehn.org/precaution.html>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2008.

TRIFUNOVIC, N. (2006). *Introduction to Urban Water Distribution*. UNESCO – IHE LECTURE NOTE SERIES. Taylor & Francis / Bakelma. Leiden. The Netherlands. 509p.

TSUTIYA, M.T. (1998). *Avaliação de custo de sistemas de abastecimento de água*. Relatório Técnico. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, 12 p. SABESP. São Paulo.

TSUTIYA, M.T. (2004). *Abastecimento de Água*. São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 643p.

UNITED NATIONS (2006). *Water – a shared responsibility*. The United Nations World Water Development Report 2. Disponível em: <<http://www.unesco.org/water/wwap>>. Acesso em: 6 de julho de 2007.

UNIVERSIDADE DA ÁGUA (2009). *Estação de tratamento de água*. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2009.

UN MILLENNIUM PROJECT (2005). *Health, Dignity, and Development: What Will it Take?* Task Force on Water and Sanitation. United Nations Development Program, New York.

USEPA (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund*. Volume 1. Human Health Evaluation Manual (Part A). Disponível em: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/pdf/rags-vol1-pta_complete.pdf>. Acesso em: 7 de dezembro de 2008.

USEPA (2002a). *Permeation and Leaching*. Disponível em: <http://www.epa.gov/safewater/disinfection/regulation_revisions.html>. Acesso em: 25 de março de 2008.

USEPA (2002b). *Health Risks from Microbial Growth and Biofilms in Drinking Water Distribution Systems*. Disponível em: <http://www.epa.gov/safewater/disinfection/regulation_revisions.html>. Acesso em: 25 de março de 2008.

USEPA (2002c). *Potential Contamination Due to Cross-Connections and Backflow and the Associated Health Risks – An Issues Paper*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/tcrds.html>>. Acesso em: 25 de março de 2008.

USEPA (2002d). *Cross-Connection Control: A Best Practices Guide*. EPA 816-F-06-035. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/smallsys.html>>. Acesso em: 25 de março de 2008.

USEPA (2003). *Cross-Connection Control Manual (Technical Corrections)*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/tcrds.html>>. Acesso em: 25 de março de 2008.

USEPA (2004). *The effectiveness of Disinfectant Residuals in the Distribution System*. Disponível em: <http://www.epa.gov/safewater/disinfection/regulation_revisions.html>. Acesso em: 25 de março de 2008.

USEPA (2006a). *25 years of the safe drinking water act: history and trends*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/consumer/trendrpt.pdf>>. Acesso em: 28 de maio de 2006.

USEPA (2006b). *Distribution System Indicators of Drinking Water Quality*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/disinfection/tcr/index.html>>. Acesso em: 25 de março de 2008.

USEPA (2006c). *Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) Strategies for Distribution System Monitoring, Hazard Assessment and Control*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/disinfection/tcr/index.html>>. Acesso em: 25 de março de 2008.

USEPA (2006d). *Distribution Systems: A Best Practices Guide*. EPA 816-F-06-038. Disponível em: <<http://epa.gov/safewater/smallsys.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2007.

USEPA (2006e). *Inorganic Contaminant Accumulation in Potable Water Distribution Systems*. Disponível em: <<http://epa.gov/safewater/disinfection/tcr/index.html>>. Acesso em: 25 de outubro de 2008.

USEPA (2007a). *Risk Communication in Action: The Risk Communication Workbook*. EPA/625/R-05/003 August 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ord/NRMRL/pubs/625r05003/625r05003.html>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2008.

USEPA (2007b). *Distribution System Inventory, Integrity and Water Quality*. Disponível em: <<http://www.epa.gov.br/safewater/disinfection/lt2/compliance.html>>. Acesso em: 25 de março de 2008.

U.S. PUBLIC HEALTH SERVICE (1995). *Communication Strategy: Working with Individuals and Communities to Weigh the Odds*. Prevention Report. Disponível em: <<http://nhic-nt.health.org/nmp/pubs/prevrpt/fmpr1.html>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

VAIRAVAMOORTHY, K.; GORONTIWAR, S.D.; YAN, J.M.; GALGALE, H.M.; MOHAMED-MANSOOR, M.A.; MOHAN, S. (2006). *Risk Assessment of Contamination Intrusion into Water Distribution Systems – Book 3*. Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University, UK.

Van LIEVERLOO, J.H.; BLOKKER, E.J.M.; MEDEMA, G.; HAMBSCH, B.; PITCHERS, M.; STANFIELD, G.; STANGER M.; AGUTTER P.; LAKE R.; LORET J.F.; SOYEUX E. (2006). *Contamination during distribution*. Disponível em: <http://www.microrisk.com/uploads/microrisk_distribution_assessment.pdf>. Acesso em: 07 de dezembro de 2008.

VIEIRA, J.M.P. (2005a). *Water Safety Plans: methodologies for risk assessment and risk management in drinking-water systems*. The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources. *Anais....* Guimarães. Portugal.

VIEIRA, J.M.P. e MORAIS C. (2005b). *Planos de Segurança da Água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos e Universidade do Minho. Portugal.

WALSKI, T.M.; LUTES, T.L. (1994). Hydraulic Transients Cause Low-Pressure Problems. *Journal of the American Water Works Association*, v.86, n.12, p24-32.

WATER SUPPLY AND SANITATION COLLABORATIVE COUNCIL AND WORLD HEALTH ORGANIZATION (2005). *Sanitation and Hygiene Promotion – Program Guidance*. WHO. Geneva.

WELL – WATER AND ENVIRONMENTAL HEALTH AT LONDON AND LOUGHROROUGH (1998). *Guidance manual on water supply and sanitation programmes*, WEDC, Loughborough, UK.

WEBBER, N.B. (1971). *Fluid mechanics for civil engineers*. Chapman and Hall, London.

WESTRELL T. (2004). *Microbial risk assessment and its implications for risk management in urban water systems*. Thesis Departament of Water and Environmental Studies. Linköping University. Linköping, Sweden.

WHITE G.C. (1992). *Handbook of chlorination and alternative disinfectants*. 3rd ed. Van Nostrand Reinhold, New York. s.p.

WHITE G.S.; BRADLEY D.J.; WHITE A.U. (1972). *Drawers of Water; Domestic Water Use in East Africa*. Chicago: University of Chicago Press. 306p.

WHO (1971). *International Drinking Water Standard*. World Health Organization, Genebra. 76p.

WHO (1984). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 1a. edição, Volume 1, World Health Organization, Genebra. 136p.

WHO (1997a). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 2a. edição, Volume 1, World Health Organization, Geneva. Switzerland. 195p.

WHO (1997b). *Health and environment in sustainable development*. Geneva, World Health Organization, Geneva. Switzerland. 39p.

WHO (1997c). *Indicators for Policy and Decision Making in Environmental Health*. Geneva, Switzerland.

WHO (1999). *World Health Report 1999 – Making a Difference*. Disponível em: <<http://www.who.int/whr/1999/en/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2008. 121p.

WHO (2000a). *Tools for assessing the O&M status for water supply and sanitation in developing countries*. World Health Organization. Geneva. Switzerland.

WHO (2000b). *Guidelines for safe recreational waters, vol. 2. Swimming pools, spas and similar recreational-water environments*. World Health Organization. Geneva. Disponível em: http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/bathing/bathing2/eng/>. Acesso em: 21 de maio de 2009. 146p.

WHO (2002c). *World Health Report 2002 – Reducing Risks, Promoting Healthy Life*. Disponível em: <<http://www.who.int/whr/2002/en/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2008. 230p.

WHO & OECD (2003). *Assessing Microbial Safety of Drinking Water – Improving approaches and methods*. IWA publishing. London. 295p.

WHO (2003). *Heterotrophic Plate Counts and Drinking Water Safety: The Significance of HPCs for Water Quality and Human Health*. Geneva, Switzerland. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/HPCFull.pdf. Acesso em: 10 jan. 2006. 271p.

WHO (2004a). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 3a. edição, Volume 1, World Health Organization, Genebra. 513p.

WHO (2004b). *The precautionary principle: protecting public health, the environment and the future of our children*. Regional Office for Europe of the World Health Organization. Copenhagen. 25p.

WHO (2004c). *Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level*. Geneva, World Health Organization. 87p.

WHO (2005a). *Water Safety Plans – Managing drinking-water quality from catchment to consumer*. World Health Organization. Genebra. 244p.

WHO (2005b). *Water-related diseases: Malnutrition*. Geneva, World Health Organization. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/malnutrition/en/. Acesso em: 10 jun 2007.

WHO (2005c). *Ecosystems and human health - health synthesis*. Geneva, World Health Organization. 57p.

WHO e UNICEF (2000). *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report*. The WHO and UNICEF Joint Monitoring Program for Water Supply and Sanitation (JMP). Geneva, World Health Organization. 79p.

WHO e UNICEF (2004). *Meeting the MDG drinking water and sanitation target: A mid-term assessment of progress*. Geneva, World Health Organization. 47p.

WHO e UNICEF (2005). *Water for life. Making it happen*. Geneva, World Health Organization. 44p.

WIENDL, W.G. (1973). *Tubulações para Água*. Secretaria dos Serviços e Obras Públicas. Fomento Estadual de Saneamento Básico. Centro Tecnológico de Saneamento Básico. São Paulo. 339p.

WOLFE, R.L., E.G. MEANS, M.K. DAVIS e BARRET S.E. (1988). Biological nitrification in covered reservoirs containing chloraminated water. *Journal of the American Water Works Association*, v.80, n.9, p.109-114.

WOLFE, R.L., N.I. LIEY, G. IZAGUIRRE, e E.G. MEANS (1990). Amonia oxidizing bacteria in a chloraminated distribution system: seasonal occurrence, distribution, and disinfection resistance. *Applied Environmental Microbiology*. v.56, n.2, p.451-462.

YASSUDA, E.R. (1960). *Contribuição para o Estudo das Vazões de Distribuição em Redes de Água Potável*. Tese (Doutorado), Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo.

YASSUDA, E.R. (1989). Saneamento e Saneamento Básico na Constituinte paulista. São Paulo. *Revista DAE*. v. 49, n.155, p.106-112.

9. ADENDOS

ADENDO A – ESQUEMA HIDRÁULICO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE ITATINGA

**ADENDO B – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO
PROGRAMA COMPUTACIONAL
EPANET**

Tabela B-1 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1.

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica Montante (mca)	Pressão Dinâmica Jusante (mca)
2	1	T - 1	128,00	50	0,02	838,84	841,90	24,14	21,07
4	2	T - 2	55,00	50	0,07	838,40	838,84	24,59	24,14
4	3	T - 3	128,00	50	0,05	838,40	840,20	24,59	22,78
6	4	T - 4	63,00	50	0,21	837,97	838,40	25,11	24,59
6	5	T - 5	126,00	50	0,05	837,97	842,90	25,11	20,17
8	6	T - 6	62,00	50	0,35	837,54	837,97	25,76	25,11
8	7	T - 7	122,00	50	0,05	837,54	842,07	25,76	21,23
10	8	T - 8	63,00	75	0,22	837,91	837,54	25,45	25,76
10	9	T - 9	118,00	50	0,04	837,91	840,51	25,45	22,85
12	10	T - 10	63,00	75	0,28	837,53	837,91	25,92	25,45
12	11	T - 11	115,00	50	0,04	837,53	840,12	25,92	23,33
14	12	T - 12	63,00	75	0,34	837,10	837,53	26,48	25,92
14	13	T - 13	113,00	50	0,04	837,10	839,90	26,48	23,67
16	14	T - 14	62,00	75	0,39	836,66	837,10	27,09	26,48
16	15	T - 15	106,00	50	0,04	836,66	840,29	27,09	23,45
18	16	T - 16	62,00	75	0,45	836,23	836,66	27,73	27,09
18	17	T - 17	105,00	50	0,04	836,23	840,51	27,73	23,45
20	18	T - 18	63,00	100	0,28	835,79	836,23	28,24	27,73
20	19	T - 19	83,00	50	0,03	835,79	840,30	28,24	23,73
21	20	T - 20	116,00	100	0,31	836,00	835,79	28,17	28,24
22	21	T - 21	38,00	100	0,31	826,90	836,00	37,31	28,17
23	22	T - 22	150,00	100	0,31	827,00	826,90	37,39	37,31
24	23	T - 23	150,00	100	0,31	836,00	827,00	28,57	37,39
24	78	T - 24	90,00	150	0,59	836,00	832,50	28,84	32,07
24	94	T - 25	275,00	150	0,74	850,00	836,00	16,14	28,84
27	25	T - 26	300,00	50	0,03	820,00	810,00	40,11	50,10
27	26	T - 27	80,00	50	0,03	820,00	827,00	40,11	33,11
27	28	T - 28	80,00	50	0,03	818,00	820,00	34,78	32,78
27	30	T - 29	40,00	50	0,13	825,30	820,00	34,84	40,11
28	29	T - 30	43,00	50	0,08	819,20	818,00	33,59	34,78
29	30	T - 31	100,00	50	0,04	819,20	825,30	33,59	27,49
29	31	T - 32	45,00	50	0,18	821,90	819,20	30,94	33,59
30	32	T - 33	43,00	50	0,16	828,00	825,30	32,18	34,84
31	32	T - 34	100,00	50	0,04	819,20	825,30	33,64	27,54
31	34	T - 35	49,00	50	0,29	824,00	819,20	28,97	33,64
32	40	T - 36	109,00	50	0,22	828,00	832,00	32,35	28,18
33	36	T - 37	45,00	50	0,02	820,90	820,00	32,28	33,18
33	34	T - 38	40,00	50	0,01	824,00	820,00	28,97	32,97
34	39	T - 39	50,00	50	0,40	826,00	824,00	27,20	28,97
34	35	T - 40	48,00	50	0,02	824,00	827,00	28,97	25,97
36	38	T - 41	38,00	50	0,05	825,00	820,90	28,18	32,28
37	38	T - 42	85,00	50	0,03	825,00	823,00	28,18	30,18
38	39	T - 43	32,00	50	0,14	826,00	826,00	27,20	27,18
39	40	T - 44	100,00	50	0,04	832,00	826,00	28,35	34,34
39	44	T - 45	103,00	50	0,60	828,00	826,00	26,22	27,20
40	41	T - 46	100,00	50	0,37	836,10	832,00	24,66	28,35
40	45	T - 47	103,00	50	0,04	832,50	832,00	28,76	29,26
41	42	T - 48	8,00	50	0,41	836,10	836,10	24,69	24,66
41	46	T - 49	103,00	50	0,04	836,50	836,10	24,81	25,21
42	51	T - 50	203,00	50	0,49	835,80	836,10	26,37	24,69
43	44	T - 51	80,00	50	0,03	828,00	826,00	26,22	28,22
44	45	T - 52	100,00	50	0,04	828,00	832,50	26,22	21,72
44	48	T - 53	104,00	50	0,82	828,50	828,00	27,51	26,22
45	46	T - 54	100,00	50	0,11	836,50	832,50	24,81	28,76
45	49	T - 55	104,00	50	0,04	833,10	832,50	28,40	28,99
46	50	T - 56	104,00	50	0,27	835,80	836,50	25,75	24,81
47	48	T - 57	80,00	50	0,03	828,50	826,00	27,51	30,01
48	49	T - 58	100,00	50	0,04	828,50	832,50	27,51	23,51
48	54	T - 59	105,00	50	1,03	827,80	828,50	31,01	27,51
49	50	T - 60	100,00	50	0,12	835,80	833,10	25,75	28,40

Tabela B-1 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1 (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica Montante (mca)	Pressão Dinâmica Jusante (mca)
49	55	T - 61	105,00	50	0,04	832,10	833,10	30,18	29,17
50	51	T - 62	8,00	50	0,00	835,80	835,80	25,75	25,75
51	57	T - 63	105,00	75	0,27	838,80	835,80	23,51	26,37
52	53	T - 64	205,00	25	0,08	815,00	812,00	43,77	46,69
53	54	T - 65	230,00	50	0,06	827,80	815,00	31,01	43,77
53	84	T - 66	510,00	50	0,19	817,00	815,00	37,21	38,58
54	55	T - 67	100,00	75	0,02	832,10	827,80	30,18	34,48
54	61	T - 68	95,00	100	0,30	824,10	827,80	34,84	31,01
55	56	T - 69	100,00	75	0,08	838,80	832,10	23,50	30,18
55	63	T - 70	204,00	50	0,08	823,80	832,10	36,50	28,15
56	50	T - 71	105,00	50	0,51	838,80	835,80	23,50	25,75
56	57	T - 72	8,00	75	0,34	838,80	838,80	23,51	23,50
56	64	T - 73	204,00	50	0,08	827,00	838,80	36,94	25,09
57	58	T - 74	75,00	75	0,01	834,60	838,80	29,30	25,10
57	65	T - 75	204,00	75	0,67	827,00	838,80	36,77	23,51
58	59	T - 76	93,00	25	0,14	834,60	840,00	29,30	23,69
58	66	T - 77	204,00	50	0,20	831,00	834,60	33,18	29,30
60	61	T - 78	125,00	50	0,05	824,10	824,30	34,84	34,63
61	62	T - 79	79,00	100	0,34	822,50	824,10	36,57	34,84
62	63	T - 80	100,00	50	0,04	822,50	823,80	36,57	35,27
62	75	T - 81	98,00	100	0,37	824,00	822,50	35,28	36,57
63	64	T - 82	100,00	50	0,04	827,00	823,80	36,94	40,14
63	76	T - 83	98,00	50	0,19	827,50	823,80	32,94	36,50
64	65	T - 84	8,00	50	0,00	827,00	827,00	36,77	36,77
64	77	T - 85	98,00	50	0,26	832,50	827,00	31,66	36,94
65	66	T - 86	75,00	50	0,03	831,00	827,00	33,18	37,17
65	78	T - 87	98,00	75	0,72	832,50	827,00	32,07	36,77
66	67	T - 88	270,00	75	0,17	842,00	831,00	22,34	33,18
67	82	T - 89	100,00	75	0,24	845,10	842,00	19,35	22,34
68	67	T - 90	89,00	50	0,03	842,00	843,00	22,34	21,34
69	80	T - 91	98,00	50	0,14	837,00	837,00	27,16	27,09
69	70	T - 92	104,00	25	0,37	837,00	834,10	27,09	28,43
70	72	T - 93	76,00	25	0,11	834,10	841,00	28,43	21,44
71	70	T - 94	140,00	25	0,05	834,10	842,70	28,43	19,79
73	74	T - 95	83,00	25	0,12	825,20	826,00	34,05	33,10
74	75	T - 96	80,00	50	0,09	824,00	825,20	35,28	34,05
75	76	T - 97	100,00	75	0,75	827,50	824,00	32,94	35,28
76	77	T - 98	100,00	75	1,36	832,50	827,50	31,66	32,94
76	88	T - 99	102,00	75	0,46	827,50	829,00	32,94	30,98
77	78	T - 100	8,00	75	1,61	832,50	832,50	32,07	31,66
77	89	T - 101	102,00	50	0,19	832,50	834,00	31,66	30,01
78	79	T - 102	75,00	75	0,01	836,00	832,50	28,15	31,65
79	80	T - 103	75,00	75	0,07	837,00	836,00	27,16	28,15
79	83	T - 104	86,00	50	0,03	836,00	831,00	28,15	33,15
80	81	T - 105	104,00	75	0,21	842,00	837,00	22,27	27,16
80	91	T - 106	102,00	50	0,04	837,00	842,50	27,16	21,66
81	92	T - 107	102,00	50	0,04	842,00	846,00	22,27	18,26
81	82	T - 108	105,00	75	0,28	845,10	842,00	19,35	22,27
82	93	T - 109	104,00	75	0,57	850,00	845,10	15,16	19,35
84	107	T - 110	100,00	50	0,04	817,00	821,00	37,21	33,21
84	86	T - 111	312,00	50	0,57	826,50	817,00	30,51	37,21
85	86	T - 112	97,00	25	0,15	826,50	826,50	30,51	30,28
86	88	T - 113	110,00	50	0,88	829,00	826,50	30,98	30,51
87	86	T - 114	98,00	25	0,15	826,50	825,00	30,51	31,77
88	89	T - 115	100,00	50	0,04	834,00	829,00	30,01	35,01
88	101	T - 116	100,00	75	0,02	829,00	828,70	30,98	31,28
89	90	T - 117	75,00	50	0,03	837,00	834,00	25,80	28,80
89	100	T - 118	100,00	50	0,04	834,00	839,50	30,16	24,65
90	99	T - 119	100,00	50	0,09	836,50	837,00	26,34	25,80
90	91	T - 120	75,00	50	0,03	842,50	837,00	21,04	26,54

Tabela B-1 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1 (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica Montante (mca)	Pressão Dinâmica Jusante (mca)
91	92	T - 121	100,00	50	0,04	846,00	842,50	18,99	22,49
91	98	T - 122	100,00	50	0,09	840,00	842,50	23,58	21,04
92	93	T - 123	100,00	50	0,04	850,00	846,00	15,16	19,16
92	97	T - 124	100,00	50	0,11	846,00	845,00	19,05	19,99
93	96	T - 125	100,00	75	0,64	849,00	850,00	17,01	15,16
94	95	T - 126	105,00	150	0,76	850,00	850,00	16,65	16,14
95	139	T - 127	104,00	200	0,43	849,00	850,00	17,77	16,65
96	106	T - 128	104,00	75	0,70	847,00	849,00	20,08	17,01
96	97	T - 129	100,00	50	0,04	849,00	845,00	17,01	21,00
97	98	T - 130	100,00	50	0,04	845,00	840,00	20,05	25,05
97	123	T - 131	100,00	50	0,26	843,80	845,00	21,47	20,05
98	99	T - 132	75,00	50	0,03	840,00	836,50	23,58	27,08
98	121	T - 133	100,00	50	0,22	840,00	838,50	23,78	25,08
99	100	T - 134	75,00	50	0,03	836,00	839,50	26,84	23,34
99	120	T - 135	100,00	50	0,22	834,00	836,50	29,04	26,34
100	101	T - 136	100,00	50	0,04	839,50	836,50	22,87	25,87
100	119	T - 137	105,00	50	0,11	835,90	839,50	26,54	22,87
101	102	T - 138	102,00	50	0,25	828,70	826,50	32,96	34,90
101	118	T - 139	100,00	75	0,15	828,00	828,70	33,71	32,96
102	103	T - 140	98,00	50	0,04	826,50	827,00	34,90	34,40
102	104	T - 141	118,00	50	0,10	826,50	826,00	34,90	35,36
104	105	T - 143	68,00	50	0,03	826,00	826,00	35,36	35,36
106	266	T - 144	540,00	200	1,02	869,30	847,00	0,50	20,08
106	123	T - 145	100,00	100	1,14	847,00	843,80	20,08	21,47
106	140	T - 146	50,00	75	1,35	847,00	847,00	20,08	18,25
106	139	T - 147	260,00	200	0,44	847,00	849,00	20,08	17,77
107	108	T - 148	38,00	50	0,02	851,60	852,00	10,09	9,69
107	112	T - 149	70,00	50	0,02	845,00	831,60	16,70	30,09
108	109	T - 150	208,00	50	0,01	852,00	850,00	9,69	11,69
109	110	T - 151	90,00	50	0,00	844,00	850,00	17,68	11,68
110	111	T - 152	250,00	50	0,02	844,00	844,00	17,69	17,68
111	112	T - 153	156,00	50	0,03	845,00	844,00	16,70	17,69
113	112	T - 154	125,00	75	0,03	832,00	845,00	29,70	16,70
113	115	T - 155	200,00	100	0,02	818,00	832,00	43,70	29,70
114	115	T - 156	189,00	50	0,01	818,00	822,00	43,70	39,70
115	116	T - 157	465,00	100	0,02	826,50	818,00	35,21	43,70
116	117	T - 158	105,00	100	0,02	827,00	826,50	34,71	35,21
117	118	T - 159	105,00	100	0,02	828,00	827,00	33,71	34,71
118	124	T - 160	104,00	75	0,27	828,00	827,00	33,71	34,57
118	119	T - 161	104,00	100	0,70	835,90	828,00	26,54	33,71
118	131	T - 162	100,00	50	0,19	828,00	826,00	33,71	35,58
119	120	T - 163	75,00	100	0,75	834,00	835,90	29,04	26,54
119	132	T - 164	100,00	38	0,06	827,80	835,90	35,25	27,13
120	121	T - 165	75,00	100	0,83	838,50	834,00	25,28	29,04
121	123	T - 166	100,00	100	1,03	843,80	838,50	21,47	25,28
121	135	T - 167	100,00	50	0,42	838,50	836,00	25,28	27,14
122	123	T - 168	80,00	50	0,03	843,80	842,00	21,47	23,27
124	129	T - 169	106,00	75	0,23	827,00	824,00	34,57	37,45
125	126	T - 170	90,00	50	0,03	820,00	822,00	41,19	39,19
126	128	T - 171	65,00	50	0,17	821,80	820,00	39,45	41,19
126	144	T - 172	100,00	50	0,04	820,00	818,00	41,19	43,18
127	128	T - 173	60,00	50	0,02	821,80	824,00	39,45	37,25
128	129	T - 174	65,00	50	0,32	824,00	821,80	37,45	39,45
128	145	T - 175	80,00	50	0,03	821,80	820,10	39,45	41,15
129	130	T - 176	90,00	50	0,03	824,00	826,00	37,45	35,45
131	149	T - 177	100,00	75	0,05	826,00	825,90	35,58	35,68
131	132	T - 178	100,00	50	0,04	827,80	826,00	35,25	37,05
132	134	T - 179	100,00	75	0,12	832,00	827,80	31,09	35,25
132	150	T - 180	100,00	50	0,04	827,80	828,00	35,25	35,05

Tabela B-1 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1 (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica Montante (mca)	Pressão Dinâmica Jusante (mca)
133	134	T - 181	89,00	25	0,01	832,00	834,00	31,09	29,08
134	135	T - 182	89,00	75	0,15	836,00	832,00	27,14	31,09
134	151	T - 183	100,00	25	0,01	832,00	832,00	31,09	31,08
135	152	T - 184	89,00	25	0,01	837,50	836,00	19,02	20,52
136	137	T - 185	78,00	25	0,06	842,00	836,00	21,29	27,27
137	138	T - 186	100,00	25	0,13	847,00	842,00	16,49	21,29
137	153	T - 187	100,00	50	0,04	843,00	842,00	13,69	14,69
138	140	T - 188	50,00	75	1,32	847,00	847,00	18,25	16,49
138	154	T - 189	100,00	75	1,28	847,00	848,00	16,49	12,18
140	141	T - 190	30,00	50	0,01	847,00	847,00	18,25	18,25
143	144	T - 192	45,00	50	0,02	818,00	817,60	42,15	42,55
144	146	T - 193	50,00	50	0,05	820,00	818,00	40,15	42,15
146	155	T - 194	77,00	50	0,03	818,70	820,00	41,45	40,15
146	147	T - 195	58,00	50	0,15	823,00	820,00	37,20	40,15
147	148	T - 196	110,00	50	0,29	825,90	823,00	34,58	37,20
147	156	T - 197	100,00	50	0,04	822,00	823,00	38,20	37,20
147	129	T - 198	100,00	50	0,04	824,00	823,00	37,45	38,45
148	149	T - 199	9,00	50	0,00	825,90	825,90	34,58	34,58
148	118	T - 200	214,00	75	0,59	828,00	825,90	33,71	34,58
148	157	T - 201	100,00	75	0,39	825,90	826,00	34,58	34,21
149	150	T - 202	96,00	50	0,04	825,90	828,00	35,68	33,57
150	151	T - 203	100,00	25	0,01	832,50	828,00	24,00	28,49
150	158	T - 204	100,00	50	0,00	828,00	831,00	33,57	30,57
151	152	T - 205	75,00	25	0,06	837,50	832,50	19,02	24,00
151	160	T - 206	50,00	25	0,01	832,50	834,00	24,00	22,50
152	153	T - 207	100,00	25	0,12	843,00	837,50	13,69	19,02
152	161	T - 208	100,00	50	0,00	837,50	837,00	19,02	19,52
153	154	T - 209	100,00	25	0,57	848,00	843,00	12,18	13,69
153	162	T - 210	100,00	50	0,02	843,00	842,90	13,69	13,79
154	163	T - 211	100,00	75	1,18	848,00	847,00	12,18	10,35
156	157	T - 212	100,00	50	0,04	826,00	822,00	34,21	38,21
157	158	T - 213	100,00	50	0,09	826,00	831,00	34,21	29,18
157	165	T - 214	64,00	75	0,28	826,00	825,00	34,21	35,12
158	166	T - 215	64,00	50	0,02	831,00	828,00	29,18	32,18
159	160	T - 216	52,00	50	0,07	834,00	831,00	21,21	24,20
159	167	T - 217	64,00	50	0,02	831,00	828,00	24,20	27,19
160	161	T - 218	75,00	50	0,25	837,00	834,00	18,39	21,21
160	169	T - 219	83,00	50	0,11	834,00	835,00	21,21	20,17
161	185	T - 220	154,00	50	0,10	837,00	842,00	18,39	13,33
161	162	T - 221	100,00	50	0,48	842,90	837,00	13,33	18,39
162	163	T - 222	100,00	50	0,56	847,00	842,90	10,35	13,33
162	187	T - 223	102,00	50	0,04	842,00	842,00	10,71	10,70
163	188	T - 224	102,00	75	0,88	847,00	846,00	10,35	9,71
164	165	T - 225	104,00	50	0,49	821,00	825,00	39,12	34,43
164	171	T - 226	48,00	50	0,43	821,00	821,80	38,43	37,37
165	166	T - 227	100,00	50	0,04	825,00	828,00	35,12	32,12
167	168	T - 228	8,00	50	0,00	828,00	828,00	27,16	27,16
167	169	T - 229	85,00	50	0,04	835,00	828,00	20,17	27,16
168	170	T - 230	89,00	50	0,03	835,00	828,00	15,96	22,96
168	173	T - 231	48,00	50	0,02	827,00	828,00	23,95	22,95
169	170	T - 232	8,00	50	0,00	835,00	835,00	20,17	20,17
170	175	T - 233	57,00	50	0,09	835,40	835,00	15,58	15,96
171	172	T - 234	202,00	50	0,34	821,80	827,00	37,37	31,48
172	177	T - 235	50,00	50	0,24	827,00	825,00	31,48	33,38
173	174	T - 236	10,00	50	0,00	827,00	827,00	23,99	23,99
173	175	T - 237	117,00	50	0,08	835,40	827,00	15,58	23,95
174	176	T - 238	122,00	50	0,05	835,40	827,00	15,60	23,99
174	181	T - 239	50,00	50	0,02	825,00	827,00	26,16	24,16
175	176	T - 240	11,00	50	0,24	835,40	835,40	15,60	15,58

Tabela B-1 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1 (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica Montante (mca)	Pressão Dinâmica Jusante (mca)
176	183	T - 241	59,00	50	0,35	837,00	835,40	14,22	15,60
177	178	T - 242	100,00	50	0,07	825,00	823,20	33,38	35,16
177	180	T - 243	50,00	50	0,09	825,00	825,00	33,38	33,37
177	182	T - 244	12,00	50	0,00	825,00	824,10	26,28	27,18
178	179	T - 245	50,00	50	0,02	823,20	823,00	35,16	35,36
179	180	T - 246	100,00	50	0,04	824,10	823,00	34,27	35,36
181	182	T - 247	10,00	50	0,00	825,00	825,00	26,28	26,28
181	183	T - 248	150,00	50	0,09	837,00	825,00	14,22	26,16
182	184	T - 249	155,00	50	0,07	837,00	825,00	14,31	26,28
183	184	T - 250	12,00	50	0,53	837,00	837,00	14,31	14,22
184	186	T - 251	58,00	50	0,68	842,00	837,00	10,03	14,31
185	186	T - 252	40,00	50	0,01	842,00	843,00	13,33	12,32
185	187	T - 253	23,00	50	0,01	842,00	842,00	13,33	13,33
186	187	T - 254	45,00	50	0,76	842,00	842,00	10,71	10,03
187	188	T - 255	100,00	25	3,41	846,00	842,00	9,71	10,71
188	190	T - 256	104,00	75	0,47	846,00	845,00	9,71	10,21
189	186	T - 257	54,00	50	0,02	842,00	842,00	10,03	10,02
189	190	T - 258	92,00	50	0,94	845,00	842,00	10,21	11,13
189	191	T - 259	109,00	50	0,04	842,80	842,80	10,33	10,32
189	192	T - 260	58,00	50	0,81	842,80	838,50	10,33	13,65
190	210	T - 261	56,00	75	0,01	845,00	844,90	10,21	10,31
192	199	T - 262	14,00	50	0,39	838,50	838,50	13,65	13,59
192	193	T - 263	179,00	50	0,33	838,50	824,80	13,65	26,78
193	194	T - 264	7,00	50	0,26	824,80	824,80	26,78	26,77
194	195	T - 265	44,00	50	0,09	824,80	826,30	26,77	25,25
194	197	T - 266	134,00	50	0,10	824,80	823,00	26,77	28,52
195	196	T - 267	100,00	50	0,04	826,30	824,90	25,25	26,65
196	197	T - 268	50,00	50	0,02	823,00	824,90	28,52	26,62
197	198	T - 269	10,00	50	0,00	823,00	823,00	28,52	28,52
198	199	T - 270	220,00	50	0,12	838,50	823,00	13,59	28,98
198	202	T - 271	45,00	50	0,02	823,00	823,00	28,98	28,98
199	200	T - 272	43,00	50	0,17	838,50	838,50	13,59	13,55
200	202	T - 273	201,00	50	0,08	838,50	823,00	13,55	29,00
201	209	T - 274	98,00	75	0,02	843,00	842,80	11,70	11,90
201	216	T - 275	58,00	50	0,92	842,80	836,00	17,68	23,22
201	227	T - 276	19,00	75	0,42	841,00	842,80	19,48	17,62
202	203	T - 277	8,00	50	0,00	823,00	823,00	29,00	29,00
203	204	T - 278	195,00	50	0,07	838,40	823,00	15,16	30,52
203	206	T - 279	43,00	50	0,02	823,00	823,00	30,52	30,52
204	205	T - 280	43,00	50	0,16	838,35	838,40	15,25	15,16
205	206	T - 281	185,00	50	0,10	838,35	838,35	15,25	15,17
205	208	T - 282	8,00	50	0,35	838,35	823,00	15,28	30,60
206	207	T - 283	8,00	50	0,00	823,00	823,00	30,54	30,54
207	208	T - 284	185,00	50	0,11	838,35	823,00	15,28	30,54
207	212	T - 285	45,00	50	0,02	823,00	823,40	30,54	30,14
208	211	T - 286	44,00	50	0,14	838,35	837,00	15,28	16,60
208	209	T - 287	78,00	50	0,72	843,00	838,35	11,70	15,28
209	210	T - 288	24,00	75	0,37	844,90	843,00	9,87	11,70
210	228	T - 289	114,00	50	0,89	845,00	844,90	12,07	9,87
211	212	T - 290	170,00	50	0,06	837,00	823,40	16,60	30,17
213	214	T - 291	45,00	50	0,02	823,40	823,40	35,77	35,77
213	215	T - 292	170,00	50	0,06	837,00	823,40	22,19	35,76
214	216	T - 293	159,00	50	0,09	836,00	823,40	23,22	35,77
215	216	T - 294	45,00	50	0,14	836,00	837,00	23,22	22,19
216	218	T - 295	8,00	50	0,58	836,00	836,00	23,22	23,15
217	227	T - 296	87,00	75	0,47	840,00	841,00	20,81	19,48
217	231	T - 297	55,00	50	0,02	834,00	840,00	32,19	26,18
217	236	T - 298	124,00	50	1,29	846,50	840,00	19,36	20,81
217	230	T - 299	144,00	50	0,10	840,00	845,10	20,47	15,32
218	219	T - 300	8,00	50	0,47	836,00	835,00	23,15	24,10

Tabela B-1 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-1 (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica Montante (mca)	Pressão Dinâmica Jusante (mca)
218	224	T - 301	135,00	50	0,06	836,00	827,00	23,15	32,13
219	220	T - 302	127,00	50	0,08	835,00	823,40	24,10	35,67
219	226	T - 303	43,00	50	0,33	835,00	833,80	24,10	25,16
220	221	T - 304	44,00	50	0,02	823,40	823,30	35,67	35,76
221	222	T - 305	14,00	50	0,01	823,30	822,95	35,65	36,00
221	226	T - 306	106,00	50	0,05	833,80	823,30	25,16	35,65
222	223	T - 307	108,00	50	0,04	827,00	822,95	31,91	35,95
222	225	T - 308	99,00	50	0,04	833,00	822,95	25,95	35,99
223	224	T - 309	8,00	50	0,00	827,00	827,00	32,13	32,13
223	225	T - 310	82,00	50	0,11	833,00	827,00	25,95	31,91
225	226	T - 311	8,00	50	0,22	833,80	833,00	25,16	25,95
227	229	T - 312	98,00	50	0,04	841,00	845,00	19,48	15,47
228	233	T - 313	108,00	50	1,01	845,00	845,00	14,84	12,07
228	229	T - 314	55,00	75	0,01	845,00	845,00	12,07	12,07
229	230	T - 315	55,00	75	0,01	845,10	845,00	15,37	15,47
229	234	T - 316	108,00	50	0,04	850,70	845,00	15,05	20,74
230	235	T - 317	108,00	50	0,04	847,00	845,10	18,79	20,68
231	232	T - 318	54,00	50	0,02	834,00	833,00	32,19	33,18
231	246	T - 319	475,00	50	0,26	845,00	834,00	22,20	32,19
232	247	T - 320	450,00	50	0,17	845,00	833,00	22,15	33,71
233	234	T - 321	55,00	50	0,02	850,70	845,00	14,77	20,47
233	237	T - 322	101,00	50	1,09	850,00	845,00	12,83	14,84
234	235	T - 323	55,00	50	0,14	847,00	850,70	18,79	15,05
234	238	T - 324	98,00	50	0,04	850,00	850,70	15,47	14,77
235	236	T - 325	36,00	50	0,26	846,50	847,00	19,36	18,79
236	239	T - 326	113,00	75	0,73	848,00	846,50	18,82	19,36
237	238	T - 327	80,00	50	1,16	850,00	850,00	15,47	12,83
237	240	T - 328	54,00	50	0,02	854,80	850,00	12,38	17,18
238	239	T - 329	34,00	50	1,27	848,00	850,00	18,82	15,47
239	241	T - 330	61,00	100	0,75	847,50	848,00	19,70	18,82
240	241	T - 331	83,00	50	0,07	847,50	854,80	19,70	12,38
240	242	T - 332	54,00	50	0,02	853,00	854,80	14,61	12,80
241	243	T - 333	61,00	100	0,79	850,00	847,50	17,61	19,70
242	243	T - 334	54,00	50	0,06	850,00	853,00	17,61	14,61
242	244	T - 335	88,00	50	0,03	854,00	853,00	14,37	15,36
243	244	T - 336	102,00	100	0,82	854,00	850,00	14,37	17,61
244	245	T - 337	24,00	100	0,85	854,00	854,00	14,55	14,37
245	246	T - 338	55,00	75	1,29	845,00	854,00	23,55	13,20
245	266	T - 339	589,00	150	0,54	869,30	854,00	0,50	14,55
246	247	T - 340	55,00	75	0,21	845,00	845,00	22,20	22,15
246	249	T - 341	120,00	75	0,24	845,00	840,00	22,20	27,07
246	251	T - 342	217,00	100	0,32	845,00	828,57	22,20	38,34
247	248	T - 343	150,00	50	0,06	845,00	848,00	22,15	19,13
249	250	T - 344	203,00	50	0,08	840,00	850,00	27,07	17,02
249	263	T - 345	450,00	50	0,17	840,00	832,00	27,07	34,62
251	252	T - 346	56,00	50	0,02	828,57	829,00	38,34	37,91
251	264	T - 347	88,00	75	0,16	828,57	829,00	38,34	37,86
251	257	T - 348	54,00	50	0,77	828,57	832,00	38,34	34,08
253	264	T - 349	194,00	50	0,25	829,74	826,07	37,12	40,40
253	254	T - 350	54,00	50	0,16	826,07	829,74	40,40	36,68
253	258	T - 351	54,00	50	0,02	833,36	829,74	32,61	36,23
254	255	T - 352	185,00	50	0,07	826,07	828,63	40,35	37,76
256	257	T - 353	135,00	50	0,05	832,00	832,85	34,08	33,22
257	260	T - 354	54,00	75	0,17	832,00	838,48	34,08	27,57
257	265	T - 355	88,00	75	0,10	832,00	833,00	34,08	33,06
258	265	T - 356	194,00	50	0,11	833,00	833,36	33,06	32,61
258	259	T - 357	54,00	50	0,02	836,61	833,36	29,22	32,47
259	260	T - 358	282,00	50	0,15	838,48	836,61	27,57	29,22
260	261	T - 359	135,00	50	0,05	838,48	836,00	27,57	30,04
266	267-RA	T - 360	20,00	200	1,45	847,00	869,30	23,00	0,50

Tabela B-2 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-1.

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)
1	3	T - 1	108,00	50	0,05	848,50	850,00	37,18	35,67
2	3	T - 2	36,00	50	0,02	851,00	850,00	34,68	35,68
3	6	T - 3	90,00	50	0,17	850,00	852,50	35,77	33,18
4	6	T - 4	108,00	50	0,05	848,50	852,50	37,27	33,26
5	6	T - 5	90,00	50	0,04	854,90	852,50	30,87	33,27
6	8	T - 6	92,00	50	0,43	852,50	853,80	33,76	31,97
7	8	T - 7	108,00	50	0,05	849,00	853,80	37,26	32,45
8	9	T - 8	108,00	50	0,11	853,80	856,70	32,46	29,50
10	9	T - 9	72,00	38	0,06	855,90	856,70	30,30	29,49
9	11	T - 10	104,00	50	0,05	856,70	856,00	31,86	32,55
12	13	T - 11	108,00	125	0,01	847,90	853,00	40,70	35,60
13	8	T - 12	108,00	50	0,78	853,00	853,80	35,60	32,46
13	14	T - 13	108,00	125	0,17	853,00	849,00	35,64	39,60
14	9	T - 14	108,00	38	0,08	849,00	856,70	39,64	31,89
14	15	T - 15	104,00	125	0,22	849,00	862,00	39,70	26,64
15	100	T - 16	108,00	50	0,19	862,00	856,00	26,70	32,56
16	17	T - 17	108,00	75	0,02	847,00	851,98	38,66	33,68
17	13	T - 18	100,00	50	0,05	851,98	853,00	36,62	35,59
17	18	T - 19	108,00	75	0,02	851,98	858,00	33,77	27,75
18	19	T - 20	104,00	75	0,02	858,00	863,00	29,69	24,69
18	14	T - 21	116,00	38	0,09	858,00	849,00	30,64	39,57
19	15	T - 22	116,00	75	0,02	863,00	862,00	25,70	26,70
20	21	T - 23	108,00	75	0,02	848,00	854,00	37,67	31,67
21	17	T - 24	90,00	75	0,06	854,00	851,98	31,67	33,68
22	21	T - 25	108,00	75	0,19	857,00	854,00	28,76	31,67
22	18	T - 26	104,00	75	0,06	857,00	858,00	28,76	27,75
23	19	T - 27	90,00	75	0,06	849,23	863,00	38,47	24,69
23	22	T - 28	104,00	75	0,95	849,23	857,00	38,47	28,76
24	25	T - 29	108,00	75	0,02	849,70	855,50	34,48	28,68
25	21	T - 30	100,00	75	0,02	855,50	854,00	30,17	31,67
26	22	T - 31	100,00	75	0,62	869,00	857,00	16,76	27,95
26	25	T - 32	108,00	75	0,58	869,00	855,50	15,95	28,68
26	27	T - 33	104,00	75	0,02	869,00	862,00	18,69	25,69
27	23	T - 34	100,00	75	0,06	862,00	849,23	25,70	38,46
28	29	T - 35	108,00	75	0,02	849,78	855,35	33,90	28,33
29	30	T - 36	108,00	50	0,40	855,35	869,00	28,33	14,19
29	25	T - 37	96,00	75	0,49	855,35	855,50	28,83	28,18
30	31	T - 38	104,00	50	0,19	869,00	862,00	14,19	21,06
31	32	T - 39	40,00	50	0,02	862,00	862,10	21,06	20,96
33	34	T - 40	108,00	50	0,05	849,00	854,00	34,06	29,05
34	29	T - 41	94,00	50	0,48	854,00	855,35	29,68	27,71
35	34	T - 42	95,00	50	0,04	850,00	854,00	33,06	29,06
36	34	T - 43	104,00	50	0,21	859,00	854,00	24,06	28,91
36	30	T - 44	120,00	50	0,05	859,00	869,00	24,19	14,17
37	36	T - 45	80,00	50	0,04	854,90	859,00	28,01	23,91
38	31	T - 46	120,00	50	0,05	858,00	862,00	25,06	21,04
38	36	T - 47	100,00	50	0,05	858,00	859,00	24,91	23,90
38	40	T - 48	54,00	50	0,02	858,00	858,00	27,71	27,71
39	40	T - 49	106,00	50	0,05	862,00	858,00	23,71	27,70
41	40	T - 50	54,00	50	0,17	858,00	858,00	27,76	27,71
41	42	T - 51	104,00	50	0,05	858,00	862,00	27,76	23,76
43	42	T - 52	46,00	50	0,02	862,15	862,00	23,84	23,98
44	41	T - 53	104,00	50	0,33	858,00	858,00	28,11	27,76
44	45	T - 54	36,00	50	0,02	858,00	854,00	29,02	33,02
44	47	T - 55	58,00	50	0,62	858,00	859,00	28,72	27,11
45	46	T - 56	57,00	50	0,03	854,00	852,00	33,02	35,02
45	48	T - 57	71,00	50	0,12	854,00	849,80	33,06	37,22
46	49	T - 58	152,00	50	0,07	852,00	854,85	33,64	30,76
47	48	T - 59	64,00	50	0,03	859,00	849,80	28,06	37,26
47	80	T - 60	48,00	50	0,67	859,00	861,00	28,30	25,72

Tabela B-2 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-1 (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)
48	64	T - 61	48,00	50	0,23	849,80	857,00	37,34	30,06
49	50	T - 62	152,00	50	0,43	854,85	860,34	31,58	25,30
49	52	T - 63	52,00	50	0,20	854,85	850,00	30,79	35,57
50	51	T - 64	56,00	50	0,03	860,34	858,00	26,09	28,43
51	52	T - 65	190,00	50	0,09	858,00	850,00	27,57	35,51
50	53	T - 66	60,00	50	0,57	860,34	861,50	26,63	24,93
53	54	T - 67	116,00	75	0,22	861,50	859,90	25,47	26,96
53	64	T - 68	150,00	100	0,30	861,50	857,00	25,64	29,97
53	63	T - 69	52,00	50	0,02	861,50	865,00	25,47	21,96
54	55	T - 70	44,00	75	0,22	859,90	860,00	26,96	26,81
55	56	T - 71	42,00	75	0,22	860,00	860,00	26,81	26,77
56	57	T - 72	105,00	50	0,20	860,00	852,00	26,77	34,63
56	60	T - 73	55,00	50	0,22	860,00	859,00	26,77	27,69
57	58	T - 74	78,00	50	0,04	852,00	848,00	34,63	38,63
57	59	T - 75	53,00	50	0,06	852,00	853,00	34,63	33,62
59	60	T - 76	90,00	50	0,04	853,00	859,00	33,69	27,68
59	61	T - 77	40,00	50	0,02	853,00	858,00	33,62	28,62
60	61	T - 78	85,00	50	0,08	859,00	858,00	27,69	28,66
61	62	T - 79	42,00	50	0,02	858,00	858,00	28,66	28,66
63	65	T - 80	132,00	50	0,06	864,00	860,00	23,24	27,22
64	65	T - 81	52,00	100	0,39	857,00	860,00	30,24	27,14
66	67	T - 82	110,00	50	0,05	870,00	863,00	13,93	20,93
67	69	T - 83	42,00	50	0,12	863,00	864,00	20,96	19,93
68	69	T - 84	100,00	50	0,05	870,00	864,00	13,96	19,95
69	71	T - 85	40,00	50	0,25	864,00	864,15	20,04	19,81
70	71	T - 86	120,00	50	0,05	870,00	864,15	14,04	19,87
71	75	T - 87	52,00	50	0,40	864,15	865,56	20,12	18,48
72	73	T - 88	120,00	50	0,05	860,93	870,00	23,20	14,11
73	74	T - 89	70,00	50	0,11	870,00	870,00	14,16	14,13
74	75	T - 90	120,00	50	0,16	870,00	866,00	14,27	18,16
75	77	T - 91	70,00	50	0,67	866,00	867,00	19,11	17,27
76	77	T - 92	91,00	50	0,04	870,00	867,00	15,11	18,10
77	78	T - 93	80,00	50	0,82	867,00	868,00	19,50	17,11
78	79	T - 94	40,00	50	0,42	868,00	865,00	18,50	21,29
78	86	T - 95	130,00	75	0,60	868,00	870,00	19,26	16,50
79	80	T - 96	60,00	50	0,03	865,00	861,00	21,29	25,29
80	65	T - 97	30,00	100	0,43	861,00	860,00	26,30	27,24
81	80	T - 98	55,00	100	0,60	865,00	861,00	22,53	26,30
81	87	T - 99	170,00	100	0,60	865,00	870,00	23,23	17,53
82	83	T - 100	40,00	50	0,02	861,00	865,00	25,20	21,20
83	84	T - 101	59,00	50	0,26	865,00	862,50	21,20	23,57
83	79	T - 102	28,00	50	0,34	865,00	865,00	21,29	21,20
83	91	T - 103	170,00	50	0,08	865,00	870,00	22,76	17,72
84	85	T - 104	80,00	50	0,04	862,50	861,00	23,57	25,07
84	32	T - 105	178,00	50	0,08	862,50	862,10	23,57	23,92
84	90	T - 106	170,00	50	0,08	862,50	868,00	26,00	20,45
85	42	T - 107	96,00	50	0,09	861,00	862,00	25,01	23,99
85	44	T - 108	97,00	50	0,17	861,00	858,00	25,11	28,01
86	91	T - 109	78,00	75	0,63	870,00	870,00	17,76	17,26
87	90	T - 110	63,00	100	0,60	870,00	868,00	18,50	20,23
88	89	T - 111	84,00	50	0,04	869,00	867,00	19,47	21,47
89	90	T - 112	52,00	50	0,10	867,00	868,00	21,50	20,47
90	94	T - 113	115,00	100	0,67	868,00	870,00	21,08	18,50
91	92	T - 114	63,00	75	0,70	870,00	870,00	18,25	17,76
92	98	T - 115	140,00	125	0,48	870,00	865,23	18,25	22,66
92	93	T - 116	115,00	125	0,75	870,00	870,00	18,94	18,25
93	114	T - 117	60,00	125	0,76	870,00	870,00	19,31	18,94
94	115	T - 118	65,00	100	0,67	870,00	870,00	19,41	19,08
95	97	T - 119	60,00	50	0,03	866,00	866,00	21,72	21,72
96	97	T - 120	62,00	50	0,03	868,00	866,00	19,72	21,72

Tabela B-2 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-2 (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)
97	19	T - 121	98,00	50	0,04	866,00	863,00	21,72	24,72
98	97	T - 122	90,00	50	0,24	866,00	866,00	21,89	21,72
98	23	T - 123	98,00	125	0,42	866,00	849,23	21,89	38,47
99	11	T - 124	49,00	50	0,02	855,00	856,00	33,56	32,55
100	11	T - 125	8,00	50	0,14	856,00	856,00	32,56	32,56
100	104	T - 126	180,00	50	0,04	856,00	853,00	32,36	35,35
101	102	T - 127	49,00	50	0,02	855,00	857,00	33,18	31,18
102	11	T - 128	95,00	50	0,02	857,00	856,00	31,18	32,18
102	103	T - 129	85,00	50	0,11	857,00	851,00	31,22	37,18
103	104	T - 130	8,00	50	0,13	851,00	853,00	37,22	35,22
103	108	T - 131	66,00	50	0,01	851,00	850,00	37,76	38,75
104	106	T - 132	69,00	50	0,25	853,00	865,00	35,36	23,22
105	106	T - 133	54,00	50	0,02	861,00	865,00	27,36	23,35
107	106	T - 134	106,00	50	0,37	864,00	865,00	24,79	23,36
107	15	T - 135	95,00	125	0,29	864,00	862,00	24,79	26,70
108	109	T - 136	214,00	50	0,13	850,00	866,00	38,88	22,76
108	110	T - 137	66,00	50	0,01	850,00	849,80	38,81	39,00
109	107	T - 138	60,00	125	0,37	866,00	864,00	22,88	24,79
109	111	T - 139	60,00	125	0,41	866,00	868,00	23,00	20,88
110	111	T - 140	254,00	50	0,14	850,00	868,00	39,00	20,81
111	113	T - 141	60,00	125	0,46	868,00	869,00	21,14	20,00
112	113	T - 142	156,00	50	0,04	862,00	869,00	27,14	20,14
113	114	T - 143	65,00	125	0,48	869,00	870,00	20,31	19,14
114	115	T - 144	6,00	125	1,25	870,00	870,00	19,41	19,31
115	131	T - 145	6,00	125	1,68	870,00	870,00	19,58	19,41
116	118	T - 146	281,00	50	0,13	865,89	855,44	19,69	29,97
117	118	T - 147	52,00	50	0,02	854,52	855,44	31,06	30,14
118	120	T - 148	63,00	50	0,33	855,44	854,12	30,35	31,46
119	120	T - 149	72,00	50	0,03	854,00	854,12	31,79	31,67
120	122	T - 150	60,00	50	0,45	854,12	860,00	32,02	25,79
121	122	T - 151	70,00	50	0,03	857,00	860,00	29,14	26,13
122	123	T - 152	60,00	50	0,57	860,00	863,00	26,67	23,14
123	124	T - 153	60,00	50	0,03	863,00	869,00	23,67	17,66
125	126	T - 154	58,00	50	0,03	870,00	865,00	17,27	22,27
126	123	T - 155	50,00	50	0,67	865,00	863,00	22,27	23,67
127	126	T - 156	55,00	50	0,77	866,00	865,00	22,12	22,27
128	127	T - 157	65,00	50	0,81	869,60	866,00	19,64	22,12
129	130	T - 158	110,00	50	0,05	864,00	869,80	25,40	19,59
130	128	T - 159	65,00	75	0,37	869,80	869,60	19,60	19,64
131	130	T - 160	60,00	75	0,42	870,00	869,80	19,58	19,60
132	131	T - 161	12,00	125	1,83	870,00	870,00	20,00	19,58

Tabela B-3 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona baixa-2.

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)
17	16	T - 1	320,00	50,00	0,22	813,86	848,00	51,99	17,34
19	17	T - 2	53,00	50,00	0,44	813,81	813,86	52,34	51,99
19	18	T - 3	325,00	50,00	0,30	813,81	847,60	52,34	17,66
21	19	T - 4	53,00	75,00	0,46	814,67	813,81	51,67	52,34
21	20	T - 5	332,00	50,00	0,30	814,67	847,89	51,67	17,50
23	21	T - 6	53,00	75,00	0,73	815,49	814,67	51,30	51,67
23	22	T - 7	340,00	50,00	0,31	815,49	847,86	51,30	17,92
25	23	T - 8	53,00	100,00	0,57	814,89	815,49	52,10	51,30
25	24	T - 9	345,00	50,00	0,32	814,89	848,00	52,10	17,93
27	25	T - 10	48,00	100,00	0,73	813,00	814,89	54,27	52,10
27	26	T - 11	350,00	50,00	0,16	813,00	847,80	54,27	19,15
28	27	T - 12	23,00	100,00	0,81	812,35	813,00	55,08	54,27
28	15	T - 13	130,00	100,00	0,81	812,35	834,43	55,08	32,08
29	28	T - 14	95,00	150,00	0,36	812,14	812,35	55,44	55,13
30	29	T - 15	126,00	150,00	0,36	822,00	812,14	45,77	55,51
31	30	T - 16	105,00	150,00	0,36	823,00	822,00	44,93	45,83
32	31	T - 17	110,00	150,00	0,36	827,10	823,00	41,00	45,00
33	32	T - 18	96,00	150,00	0,36	828,45	827,10	39,80	41,06
34	33	T - 19	105,00	150,00	0,36	832,50	828,45	35,91	39,86
35	34	T - 20	100,00	150,00	0,36	837,45	832,50	31,12	35,97
36	35	T - 21	100,00	150,00	0,36	844,00	837,45	24,72	31,17
37	36	T - 22	104,00	150,00	0,36	848,35	844,00	20,53	24,78
38	37	T - 23	100,00	150,00	0,36	854,00	848,35	15,03	20,59
39	38	T - 24	105,00	150,00	0,36	858,68	854,00	10,52	15,10
40	39	T - 25	104,00	150,00	0,36	859,87	858,68	9,49	10,58
41	40	T - 26	103,00	150,00	0,36	865,15	859,87	4,37	9,55
42	41	T - 27	106,00	150,00	0,36	868,00	865,15	1,68	4,43
43	42	T - 28	35,00	150,00	0,36	869,11	868,00	0,62	1,70
44	43	T - 29	115,00	150,00	0,36	869,29	869,11	0,62	0,69
45	44	T - 30	38,00	150,00	0,36	869,69	869,29	0,28	0,64
46	45 - RAP	T - 31	20,00	150,00	0,36	869,69	869,69	0,31	0,29

Tabela B-4 – Resultado da simulação da rede de distribuição da zona alta-2.

Nó i	Nó j	Trecho k	Extensão (m)	diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Cota do Terreno de Montante	Cota do Terreno de Jusante	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)
2	1	T - 1	95,00	50	0,029	849,180	847,900	25,46	26,73
4	2	T - 2	58,00	50	0,093	851,440	849,180	23,22	25,46
4	3	T - 3	95,00	50	0,058	851,440	848,060	23,22	26,58
6	4	T - 4	58,00	50	0,278	853,970	851,440	20,83	23,22
6	5	T - 5	95,00	50	0,058	853,970	848,000	20,83	26,78
8	6	T - 6	52,00	50	0,460	855,490	853,970	19,62	20,83
8	7	T - 7	93,00	50	0,056	855,490	847,970	19,62	27,13
10	8	T - 8	52,00	75	0,282	856,710	855,490	18,48	19,62
10	9	T - 9	95,00	50	0,058	856,710	847,870	18,48	27,30
12	10	T - 10	46,00	75	0,360	856,750	856,710	18,54	18,48
12	11	T - 11	90,00	50	0,027	856,750	847,900	18,54	27,39
14	12	T - 12	23,00	75	0,396	856,780	856,750	18,57	18,54
14	13	T - 13	95,00	50	0,029	856,780	848,000	18,57	27,35
15	14	T - 14	375,00	75	0,422	834,430	856,780	42,08	18,57

ADENDO C – MATRIZ DE RISCO
FATOR: FONTES E AMBIENTES
PERIGOSOS

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos.

Nó i	Nó j	Trecho k	Díametro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
2	1	T - 1	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	Peso = 1	0,67	Peso = seco	0,27	Areia siltosa	Peso = PVC	0,07	1,00
4	2	T - 2	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
4	3	T - 3	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
6	4	T - 4	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
6	5	T - 5	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
8	6	T - 6	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
8	7	T - 7	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
10	8	T - 8	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
10	9	T - 9	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
12	10	T - 10	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
12	11	T - 11	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
14	12	T - 12	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
14	13	T - 13	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
16	14	T - 14	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
16	15	T - 15	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
18	16	T - 16	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
18	17	T - 17	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
20	18	T - 18	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
20	19	T - 19	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
21	20	T - 20	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
22	21	T - 21	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
23	22	T - 22	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
24	23	T - 23	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
24	78	T - 24	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
24	94	T - 25	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
27	25	T - 26	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
27	26	T - 27	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
27	28	T - 28	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
27	30	T - 29	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
28	29	T - 30	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
29	30	T - 31	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
29	31	T - 32	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
30	32	T - 33	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
31	32	T - 34	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
31	34	T - 35	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
32	40	T - 36	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
33	36	T - 37	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
33	34	T - 38	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
34	39	T - 39	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
34	35	T - 40	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Díametro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSAO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
								Peso =	0,67	Peso =	0,27		Peso =	0,07	
36	38	T - 41	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
37	38	T - 42	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
38	39	T - 43	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
39	40	T - 44	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
39	44	T - 45	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
40	41	T - 46	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
40	45	T - 47	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
41	42	T - 48	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
41	46	T - 49	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
42	51	T - 50	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
43	44	T - 51	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
44	45	T - 52	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
44	48	T - 53	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
45	46	T - 54	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
45	49	T - 55	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
46	50	T - 56	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
47	48	T - 57	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
48	49	T - 58	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
48	54	T - 59	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
49	50	T - 60	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
49	55	T - 61	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
50	51	T - 62	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
51	57	T - 63	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
52	53	T - 64	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	inunda	3	Areia siltosa	PVC	1	1,53
53	54	T - 65	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	inunda	3	Areia siltosa	PVC	1	1,53
53	84	T - 66	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	inunda	3	Areia siltosa	PVC	1	1,53
54	55	T - 67	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
54	61	T - 68	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
55	56	T - 69	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
55	63	T - 70	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
56	50	T - 71	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
56	57	T - 72	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
56	64	T - 73	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
57	58	T - 74	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
57	65	T - 75	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
58	59	T - 76	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
58	66	T - 77	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
60	61	T - 78	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
61	62	T - 79	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
62	63	T - 80	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
62	75	T - 81	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	0,67	Peso = seco	0,27	Areia siltosa	Peso = FOFO	0,07	1,13
63	64	T - 82	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
63	76	T - 83	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
64	65	T - 84	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
64	77	T - 85	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
65	66	T - 86	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
65	78	T - 87	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
66	67	T - 88	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
67	82	T - 89	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
68	67	T - 90	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
69	80	T - 91	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
69	70	T - 92	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
70	72	T - 93	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
71	70	T - 94	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
73	74	T - 95	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
74	75	T - 96	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
75	76	T - 97	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
76	77	T - 98	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
76	88	T - 99	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
77	88	T - 100	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
77	89	T - 101	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
78	79	T - 102	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
79	80	T - 103	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
79	83	T - 104	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
80	81	T - 105	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
80	91	T - 106	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
81	92	T - 107	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
81	82	T - 108	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
82	93	T - 109	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
84	107	T - 110	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
84	86	T - 111	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
85	86	T - 112	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
86	88	T - 113	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
87	86	T - 114	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
88	89	T - 115	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
88	101	T - 116	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
89	90	T - 117	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
89	100	T - 118	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
90	99	T - 119	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
90	91	T - 120	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
								Peso =	0,67	Peso =	0,27		Peso =	0,07	
91	92	T - 121	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
91	98	T - 122	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
92	93	T - 123	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
92	97	T - 124	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
93	96	T - 125	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
94	95	T - 126	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
95	139	T - 127	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
96	106	T - 128	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
96	97	T - 129	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
97	98	T - 130	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
97	123	T - 131	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
98	99	T - 132	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
98	121	T - 133	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
99	100	T - 134	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
99	120	T - 135	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
100	101	T - 136	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
100	119	T - 137	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
101	102	T - 138	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
101	118	T - 139	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
102	103	T - 140	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
102	104	T - 141	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
104	105	T - 143	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
106	266	T - 144	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
106	123	T - 145	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
106	140	T - 146	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
106	139	T - 147	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
107	108	T - 148	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
107	112	T - 149	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
108	109	T - 150	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
109	110	T - 151	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
110	111	T - 152	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
111	112	T - 153	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
113	112	T - 154	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
113	115	T - 155	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
114	114	T - 156	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
115	116	T - 157	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
116	117	T - 158	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
117	118	T - 159	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
118	124	T - 160	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
118	119	T - 161	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	Peso = 1	0,67	Peso = seco	0,27	Areia siltosa	Peso = FOFO	0,07	1,13
118	131	T - 162	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	3	1,00
119	120	T - 163	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
119	132	T - 164	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
120	121	T - 165	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
121	123	T - 166	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
121	135	T - 167	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
122	123	T - 168	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
124	129	T - 169	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
125	126	T - 170	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
126	128	T - 171	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
126	144	T - 172	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
127	128	T - 173	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
128	129	T - 174	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
128	145	T - 175	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
129	130	T - 176	140	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
131	149	T - 177	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
131	132	T - 178	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
132	134	T - 179	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
132	150	T - 180	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
133	134	T - 181	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
134	135	T - 182	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
134	151	T - 183	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
135	152	T - 184	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
136	137	T - 185	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
137	138	T - 186	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
137	153	T - 187	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
138	140	T - 188	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
138	154	T - 189	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
140	141	T - 190	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
143	144	T - 192	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
144	146	T - 193	200	Cerâmico	3,00	3	0,3	2	3	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	2,33
146	155	T - 194	200	Cerâmico	3,00	3	0,5	2	3	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	2,33
146	147	T - 195	150	Cerâmico	3,00	1	0,6	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
147	148	T - 196	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
147	156	T - 197	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
147	129	T - 198	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
148	149	T - 199	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
148	118	T - 200	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos.

Nó i	Nó j	Trecho k	Díametro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSAO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
148	157	T - 201	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	0,67	Peso = seco	0,27	Areia siltosa	PVC	0,07	1,00
149	150	T - 202	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
150	151	T - 203	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
150	158	T - 204	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
151	152	T - 205	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
151	160	T - 206	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
152	153	T - 207	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
152	161	T - 208	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
153	154	T - 209	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
153	162	T - 210	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
154	163	T - 211	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
156	157	T - 212	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
157	158	T - 213	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
157	165	T - 214	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
158	166	T - 215	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
159	160	T - 216	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
159	167	T - 217	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
160	161	T - 218	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
160	169	T - 219	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
161	185	T - 220	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
161	162	T - 221	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
162	163	T - 222	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
162	187	T - 223	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
163	188	T - 224	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
164	165	T - 225	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
164	171	T - 226	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
165	166	T - 227	100	PVC	3,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
167	168	T - 228	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
167	169	T - 229	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
168	170	T - 230	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
168	173	T - 231	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
169	170	T - 232	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
170	175	T - 233	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
171	172	T - 234	100	PVC	3,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
172	177	T - 235	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
173	174	T - 236	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
173	175	T - 237	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
174	176	T - 238	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
174	181	T - 239	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
175	176	T - 240	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
176	183	T - 241	150	Cerâmico		1	0,3	Peso = 1	0,67	Peso = seco	0,27	Areia siltosa	Peso = PVC	0,07	1,00
177	178	T - 242	100	PVC	3,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
177	180	T - 243	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
177	182	T - 244	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
178	179	T - 245	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
179	180	T - 246	100	PVC	3,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
181	182	T - 247	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
181	183	T - 248	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
182	184	T - 249	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
183	184	T - 250	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
184	186	T - 251	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
185	186	T - 252	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
185	187	T - 253	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
186	187	T - 254	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
187	188	T - 255	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
188	190	T - 256	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
189	186	T - 257	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
189	190	T - 258	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
189	191	T - 259	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
189	192	T - 260	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
190	210	T - 261	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
192	199	T - 262	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
192	193	T - 263	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
193	194	T - 264	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
194	195	T - 265	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
194	197	T - 266	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
195	196	T - 267	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
196	197	T - 268	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
197	198	T - 269	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
198	199	T - 270	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
198	202	T - 271	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
199	200	T - 272	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
200	202	T - 273	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
201	209	T - 274	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
201	216	T - 275	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
201	227	T - 276	100	PVC	3,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
202	203	T - 277	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
203	204	T - 278	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
203	206	T - 279	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
204	205	T - 280	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROÇÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
205	206	T - 281	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	Peso = 1	0,67	Peso =	0,27	Areia siltosa	PVC	Peso =	3,00
205	208	T - 282	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	seco	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
206	207	T - 283	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
207	208	T - 284	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
207	212	T - 285	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
208	211	T - 286	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
208	209	T - 287	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
209	210	T - 288	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
210	228	T - 289	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
211	212	T - 290	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
213	214	T - 291	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
213	215	T - 292	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
214	216	T - 293	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
215	216	T - 294	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
216	218	T - 295	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
217	227	T - 296	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
217	231	T - 297	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
217	236	T - 298	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
217	230	T - 299	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
218	219	T - 300	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
218	224	T - 301	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
219	220	T - 302	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
219	226	T - 303	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
220	221	T - 304	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
221	222	T - 305	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
221	226	T - 306	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
222	223	T - 307	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
222	225	T - 308	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
223	224	T - 309	150	Cerâmico	1,00	4	0,3	1	4	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	3,00
223	225	T - 310	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
225	226	T - 311	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
227	229	T - 312	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
228	233	T - 313	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
228	229	T - 314	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
229	230	T - 315	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
229	234	T - 316	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	3,00	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
230	235	T - 317	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
231	232	T - 318	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
231	246	T - 319	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
232	247	T - 320	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTE DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
								Peso =	0,67	Peso =	0,27		Peso =	0,07	
233	234	T - 321	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
233	237	T - 322	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
234	235	T - 323	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
234	238	T - 324	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
235	236	T - 325	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
236	239	T - 326	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
237	238	T - 327	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
237	240	T - 328	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
238	239	T - 329	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
239	241	T - 330	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
240	241	T - 331	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
240	242	T - 332	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
241	243	T - 333	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
242	243	T - 334	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
242	244	T - 335	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
243	244	T - 336	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
244	245	T - 337	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
245	246	T - 338	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
245	266	T - 339	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOCO	3	1,13
246	247	T - 340	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
246	249	T - 341	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
246	251	T - 342	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
247	248	T - 343	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
249	250	T - 344	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
249	263	T - 345	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
251	252	T - 346	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
251	264	T - 347	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
251	257	T - 348	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
253	264	T - 349	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
253	254	T - 350	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
253	258	T - 351	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
254	255	T - 352	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
256	257	T - 353	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
257	260	T - 354	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
257	265	T - 355	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
258	265	T - 356	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
258	259	T - 357	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
259	260	T - 358	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
260	261	T - 359	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
266	267-RAP	T - 360	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOCO	3	1,13

Tabela C-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Fontes e Ambientes Perigosos.

Nº i	Nº j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTES DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	RISCO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
1	3	T - 1	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
2	3	T - 2	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
3	6	T - 3	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
4	6	T - 4	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
5	6	T - 5	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
6	8	T - 6	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
7	8	T - 7	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
8	9	T - 8	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
10	9	T - 9	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
9	11	T - 10	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
12	13	T - 11	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
13	8	T - 12	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
13	14	T - 13	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
14	9	T - 14	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
14	15	T - 15	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
15	100	T - 16	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	1	1,00
16	17	T - 17	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
17	13	T - 18	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
17	18	T - 19	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
18	19	T - 20	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
18	14	T - 21	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOGO	3	1,13
19	15	T - 22	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
20	21	T - 23	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
21	17	T - 24	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
22	21	T - 25	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
22	18	T - 26	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
23	19	T - 27	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
23	22	T - 28	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
24	25	T - 29	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
25	21	T - 30	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
26	22	T - 31	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
26	25	T - 32	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
26	27	T - 33	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
27	23	T - 34	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
28	29	T - 35	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
29	30	T - 36	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
29	25	T - 37	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
30	31	T - 38	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
31	32	T - 39	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
33	34	T - 40	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTES DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	RISCO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
34	29	T - 41	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
35	34	T - 42	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
36	34	T - 43	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
36	30	T - 44	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
37	36	T - 45	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
38	31	T - 46	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
38	36	T - 47	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
38	40	T - 48	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
39	40	T - 49	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
41	40	T - 50	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
41	42	T - 51	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
43	42	T - 52	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
44	41	T - 53	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
44	45	T - 54	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
44	47	T - 55	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
45	46	T - 56	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
45	48	T - 57	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
46	49	T - 58	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
47	48	T - 59	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
47	80	T - 60	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
48	64	T - 61	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
49	50	T - 62	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
49	52	T - 63	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
50	51	T - 64	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
51	52	T - 65	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
50	53	T - 66	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
53	54	T - 67	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
53	64	T - 68	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
53	63	T - 69	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
54	55	T - 70	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
55	56	T - 71	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
56	57	T - 72	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
56	60	T - 73	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
57	58	T - 74	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
57	59	T - 75	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
59	60	T - 76	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
59	61	T - 77	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
60	61	T - 78	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
61	62	T - 79	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
63	65	T - 80	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Nº i	Nº j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTES DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	RISCO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
64	65	T - 81	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
66	67	T - 82	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
67	69	T - 83	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
68	69	T - 84	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
69	71	T - 85	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
70	71	T - 86	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
71	75	T - 87	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
72	73	T - 88	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
73	74	T - 89	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
74	75	T - 90	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
75	77	T - 91	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
76	77	T - 92	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
77	78	T - 93	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
78	79	T - 94	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
78	86	T - 95	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
79	80	T - 96	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
80	65	T - 97	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
81	80	T - 98	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
81	87	T - 99	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
82	83	T - 100	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
83	84	T - 101	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
83	79	T - 102	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
83	91	T - 103	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
84	85	T - 104	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
84	32	T - 105	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
85	42	T - 106	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
85	42	T - 107	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
85	44	T - 108	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
86	91	T - 109	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
87	90	T - 110	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
88	89	T - 111	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
89	90	T - 112	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
90	94	T - 113	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
91	92	T - 114	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
92	98	T - 115	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
92	93	T - 116	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
93	114	T - 117	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
94	115	T - 118	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
95	97	T - 119	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
96	97	T - 120	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-2 – Fontes e Ambientes Perigosos (continuação).

Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTES DE PERIGO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	RISCO CORROSÃO EXTERNA	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS
T - 121	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 122	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 123	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
T - 124	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 125	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 126	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 127	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 128	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 129	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 130	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 131	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 132	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 133	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 134	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 135	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
T - 136	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 137	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 138	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
T - 139	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
T - 140	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 141	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
T - 142	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 143	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
T - 144	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
T - 145	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13
T - 146	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 147	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 148	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 149	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 150	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 151	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 152	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 153	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 154	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 155	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 156	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 157	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 158	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 159	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 160	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
T - 161	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	FOFO	3	1,13

Tabela C-3 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-2 – Fontes e Ambientes Perigosos.

Nó i	Nó j	Trecho k	Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO AMBIENTE PERIGOSO	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSAO EXTERNA	PERIGO PERIGOS E EVENTOS PERIGOSOS
17	16	T - 1	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
19	17	T - 2	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
19	18	T - 3	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
21	19	T - 4	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
21	20	T - 5	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
23	21	T - 6	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
23	22	T - 7	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
25	23	T - 8	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
25	24	T - 9	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
27	25	T - 10	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
27	26	T - 11	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
28	27	T - 12	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
28	15	T - 13	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
29	28	T - 14	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	inunda	3	Areia siltosa	FOFO	3	1,67
30	29	T - 15	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
31	30	T - 16	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
32	31	T - 17	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
33	32	T - 18	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
34	33	T - 19	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
35	34	T - 20	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
36	35	T - 21	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
37	36	T - 22	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
38	37	T - 23	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
39	38	T - 24	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
40	39	T - 25	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
41	40	T - 26	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
42	41	T - 27	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
43	42	T - 28	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
44	43	T - 29	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
45	44	T - 30	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00
46	45 - RAP	T - 31	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00

Tabela C-4 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-2 – Fontes e Ambientes Perigosos.

Nó i	Nó j	Trecho k	Ambiente Perigoso								Areas Baixas		Corrosividade do solo			PERIGO FONTES E AMBIENTES PERIGOSOS
			Diâmetro da tubulação da rede coletora de Esgoto	Material da tubulação da rede coletora de Esgoto	Distância Horizontal RDA e RCE (m)	Perigo distância Horizontal	Distância Vertical RDA e RCE (m)	Perigo distância Vertical	PERIGO FONTES DE PERIGOS	Condição da rede	PERIGO ÁREAS BAIXAS	Tipo de solo	Material da Rede	PERIGO CORROSÃO EXTERNA		
2	1	T - 1	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
4	2	T - 2	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
4	3	T - 3	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
6	4	T - 4	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
6	5	T - 5	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
8	6	T - 6	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
8	7	T - 7	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
10	8	T - 8	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
10	9	T - 9	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
12	10	T - 10	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
12	11	T - 11	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
14	12	T - 12	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
14	13	T - 13	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	
15	14	T - 14	150	Cerâmico	3,00	1	0,3	1	1	seco	1	Areia siltosa	PVC	1	1,00	

ADENDO D – MATRIZ DE RISCO
FATOR: VULNERABILIDADE DA REDE
DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Tabela D-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Física.

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE FÍSICA								
			Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	RISCO VULNERABILIDADE FÍSICA
			Peso =	0,05	Peso =	0,12	Peso =	0,52	Peso =	0,31	
2	1	T - 1	128,00	2	50	4	PVC	1,000	10	1	1,40
4	2	T - 2	55,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
4	3	T - 3	128,00	2	50	4	PVC	1,000	10	1	1,40
6	4	T - 4	63,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
6	5	T - 5	126,00	2	50	4	PVC	1,000	10	1	1,40
8	6	T - 6	62,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
8	7	T - 7	122,00	2	50	4	PVC	1,000	10	1	1,40
10	8	T - 8	63,00	1	75	3	PVC	1,000	10	1	1,23
10	9	T - 9	118,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
12	10	T - 10	63,00	1	75	3	PVC	1,000	10	1	1,23
12	11	T - 11	115,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
14	12	T - 12	63,00	1	75	3	PVC	1,000	10	1	1,23
14	13	T - 13	113,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
16	14	T - 14	62,00	1	75	3	PVC	1,000	10	1	1,23
16	15	T - 15	106,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
18	16	T - 16	62,00	1	75	3	PVC	1,000	10	1	1,23
18	17	T - 17	105,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
20	18	T - 18	63,00	1	100	3	PVC	1,000	10	1	1,23
20	19	T - 19	83,00	1	50	4	PVC	1,000	10	1	1,35
21	20	T - 20	116,00	1	100	3	PVC	1,000	10	1	1,23
22	21	T - 21	38,00	1	100	3	PVC	1,000	10	1	1,23
23	22	T - 22	150,00	2	100	3	PVC	1,000	10	1	1,28
24	23	T - 23	150,00	2	100	3	PVC	1,000	10	1	1,28
24	78	T - 24	90,00	1	150	2	FOFO	3,877	15	1	2,63
24	94	T - 25	275,00	3	150	2	FOFO	3,877	15	1	2,72
27	25	T - 26	300,00	3	50	4	PVC	1,000	13	2	1,76
27	26	T - 27	80,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
27	28	T - 28	80,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
27	30	T - 29	40,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
28	29	T - 30	43,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
29	30	T - 31	100,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
29	31	T - 32	45,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
30	32	T - 33	43,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
31	32	T - 34	100,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
31	34	T - 35	49,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
32	40	T - 36	109,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
33	36	T - 37	45,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
33	34	T - 38	40,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
34	39	T - 39	50,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
34	35	T - 40	48,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
36	38	T - 41	38,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
37	38	T - 42	85,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
38	39	T - 43	32,00	1	50	4	PVC	1,000	13	2	1,66
39	40	T - 44	100,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
39	44	T - 45	103,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
40	41	T - 46	100,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
40	45	T - 47	103,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
41	42	T - 48	8,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
41	46	T - 49	103,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
42	51	T - 50	203,00	2	50	4	PVC	1,000	30	4	2,33

Tabela D-1– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE FÍSICA								
			Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	RISCO VULNERABILIDADE FÍSICA
			Peso =	0,05	Peso =	0,12	Peso =	0,52	Peso =	0,31	
43	44	T - 51	80,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
44	45	T - 52	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
44	48	T - 53	104,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
45	46	T - 54	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
45	49	T - 55	104,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
46	50	T - 56	104,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
47	48	T - 57	80,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
48	49	T - 58	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
48	54	T - 59	105,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
49	50	T - 60	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
49	55	T - 61	105,00	1	50	4	FOGO	4,000	30	4	3,85
50	51	T - 62	8,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
51	57	T - 63	105,00	1	75	3	PVC	1,000	15	2	1,54
52	53	T - 64	205,00	2	25	4	PVC	1,000	30	4	2,33
53	54	T - 65	230,00	2	50	4	PVC	1,000	30	4	2,33
53	84	T - 66	510,00	4	50	4	PVC	1,000	30	4	2,43
54	55	T - 67	100,00	1	75	3	PVC	1,000	30	4	2,17
54	61	T - 68	95,00	1	100	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
55	56	T - 69	100,00	1	75	3	PVC	1,000	30	4	2,17
55	63	T - 70	204,00	2	50	4	PVC	1,000	30	4	2,33
56	50	T - 71	105,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
56	57	T - 72	8,00	1	75	3	PVC	1,000	15	2	1,54
56	64	T - 73	204,00	2	50	4	PVC	1,000	30	4	2,33
57	58	T - 74	75,00	1	75	3	PVC	1,000	15	2	1,54
57	65	T - 75	204,00	2	75	3	PVC	1,000	15	2	1,59
58	59	T - 76	93,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
58	66	T - 77	204,00	2	50	4	PVC	1,000	30	4	2,33
60	61	T - 78	125,00	2	50	4	PVC	1,000	20	2	1,71
61	62	T - 79	79,00	1	100	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
62	63	T - 80	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
62	75	T - 81	98,00	1	100	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
63	64	T - 82	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
63	76	T - 83	98,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
64	65	T - 84	8,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
64	77	T - 85	98,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
65	66	T - 86	75,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
65	78	T - 87	98,00	1	75	3	PVC	1,000	15	2	1,54
66	67	T - 88	270,00	3	75	3	PVC	1,000	20	2	1,64
67	82	T - 89	100,00	1	75	3	PVC	1,000	20	2	1,54
68	67	T - 90	89,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
69	80	T - 91	98,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
69	70	T - 92	104,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
70	72	T - 93	76,00	1	25	4	PVC	1,000	30	4	2,28
71	70	T - 94	140,00	2	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,90
73	74	T - 95	83,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
74	75	T - 96	80,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
75	76	T - 97	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
76	77	T - 98	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
76	88	T - 99	102,00	1	75	3	FOFO	3,877	30	2	3,05
77	78	T - 100	8,00	1	75	3	FOFO	3,877	15	1	2,74

Tabela D-1– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE FÍSICA								
			Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	RISCO VULNERABILIDADE FÍSICA
77	89	T - 101	102,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
78	79	T - 102	75,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
79	80	T - 103	75,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
79	83	T - 104	86,00	1	50	4	PVC	1,000	40	4	2,28
80	81	T - 105	104,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
80	91	T - 106	102,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
81	92	T - 107	102,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
81	82	T - 108	105,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
82	93	T - 109	104,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
84	107	T - 110	100,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
84	86	T - 111	312,00	3	50	4	PVC	1,000	20	2	1,76
85	86	T - 112	97,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
86	88	T - 113	110,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
87	86	T - 114	98,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
88	89	T - 115	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
88	101	T - 116	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
89	90	T - 117	75,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
89	100	T - 118	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
90	99	T - 119	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
90	91	T - 120	75,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
91	92	T - 121	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
91	98	T - 122	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
92	93	T - 123	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
92	97	T - 124	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
93	96	T - 125	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
94	95	T - 126	105,00	1	150	2	FOFO	3,877	15	1	2,63
95	139	T - 127	104,00	1	200	2	FOFO	3,877	15	1	2,63
96	106	T - 128	104,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
96	97	T - 129	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
97	98	T - 130	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
97	123	T - 131	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
98	99	T - 132	75,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
98	121	T - 133	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
99	100	T - 134	75,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
99	120	T - 135	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
100	101	T - 136	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
100	119	T - 137	105,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
101	102	T - 138	102,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
101	118	T - 139	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
102	103	T - 140	98,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
102	104	T - 141	118,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
104	105	T - 143	68,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
106	266	T - 144	600,00	4	200	2	FOCO	3,123	40	4	3,31
106	123	T - 145	100,00	1	100	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
106	140	T - 146	50,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
106	139	T - 147	260,00	3	200	2	FOFO	3,877	15	1	2,72
107	108	T - 148	38,00	1	50	4	PVC	1,000	22	3	1,97
107	112	T - 149	70,00	1	50	4	PVC	1,000	22	3	1,97
108	109	T - 150	208,00	2	50	4	PVC	1,000	22	3	2,02

Tabela D-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE FÍSICA								
			Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	RISCO VULNERABILIDADE FÍSICA
109	110	T - 151	90,00	1	50	4	PVC	1,000	22	3	1,97
110	111	T - 152	250,00	3	50	4	PVC	1,000	22	3	2,07
111	112	T - 153	156,00	2	50	4	PVC	1,000	22	3	2,02
113	112	T - 154	125,00	2	75	3	PVC	1,000	22	3	1,90
113	115	T - 155	200,00	2	100	3	PVC	1,000	22	3	1,90
114	115	T - 156	189,00	2	50	4	PVC	1,000	22	3	2,02
115	116	T - 157	465,00	4	100	3	PVC	1,000	22	3	2,00
116	117	T - 158	105,00	1	100	3	PVC	1,000	22	3	1,85
117	118	T - 159	105,00	1	100	3	PVC	1,000	22	3	1,85
118	124	T - 160	104,00	1	75	3	PVC	1,000	23	3	1,85
118	119	T - 161	104,00	1	100	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
118	131	T - 162	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
119	120	T - 163	75,00	1	100	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
119	132	T - 164	100,00	1	38	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
120	121	T - 165	75,00	1	100	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
121	123	T - 166	100,00	1	100	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
121	135	T - 167	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
122	123	T - 168	80,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
124	129	T - 169	106,00	1	75	3	PVC	1,000	23	3	1,85
125	126	T - 170	90,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
126	128	T - 171	65,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
126	144	T - 172	100,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
127	128	T - 173	60,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
128	129	T - 174	65,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
128	145	T - 175	80,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
129	130	T - 176	90,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
131	149	T - 177	100,00	1	75	3	PVC	1,000	23	3	1,85
131	132	T - 178	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
132	134	T - 179	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
132	150	T - 180	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
133	134	T - 181	89,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
134	135	T - 182	89,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
134	151	T - 183	100,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
135	152	T - 184	89,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
136	137	T - 185	78,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
137	138	T - 186	100,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
137	153	T - 187	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
138	140	T - 188	50,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
138	154	T - 189	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
140	141	T - 190	223,00	2	50	4	FOCO	3,123	40	4	3,44
143	144	T - 192	45,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
144	146	T - 193	50,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
146	155	T - 194	77,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
146	147	T - 195	58,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
147	148	T - 196	110,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
147	156	T - 197	100,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
147	129	T - 198	100,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
148	149	T - 199	9,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
148	118	T - 200	214,00	2	75	3	PVC	1,000	23	3	1,90

Tabela D-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE FÍSICA								
			Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	RISCO VULNERABILIDADE FÍSICA
			Peso =	0,05	Peso =	0,12	Peso =	0,52	Peso =	0,31	
148	157	T - 201	100,00	1	75	3	PVC	1,000	23	3	1,85
149	150	T - 202	96,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
150	151	T - 203	100,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
150	158	T - 204	100,00	1	50	4	PVC	1,000	30	4	2,28
151	152	T - 205	75,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
151	160	T - 206	50,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
152	153	T - 207	100,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
152	161	T - 208	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
153	154	T - 209	100,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
153	162	T - 210	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
154	163	T - 211	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
156	157	T - 212	100,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
157	158	T - 213	100,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
157	165	T - 214	64,00	1	75	3	PVC	1,000	23	3	1,85
158	166	T - 215	64,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
159	160	T - 216	52,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
159	167	T - 217	64,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
160	161	T - 218	75,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
160	169	T - 219	83,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
161	185	T - 220	154,00	2	50	4	PVC	1,000	20	2	1,71
161	162	T - 221	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
162	163	T - 222	100,00	1	50	4	FOFO	3,877	40	3	3,48
162	187	T - 223	102,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
163	188	T - 224	102,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
164	165	T - 225	104,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
164	171	T - 226	48,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
165	166	T - 227	100,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
167	168	T - 228	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
167	169	T - 229	85,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
168	170	T - 230	89,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
168	173	T - 231	48,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
169	170	T - 232	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
170	175	T - 233	57,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
171	172	T - 234	202,00	2	50	4	PVC	1,000	23	3	2,02
172	177	T - 235	50,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
173	174	T - 236	10,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
173	175	T - 237	117,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
174	176	T - 238	122,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
174	181	T - 239	50,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
175	176	T - 240	11,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
176	183	T - 241	59,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
177	178	T - 242	100,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
177	180	T - 243	50,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
177	182	T - 244	12,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
178	179	T - 245	50,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
179	180	T - 246	100,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
181	182	T - 247	10,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
181	183	T - 248	150,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
182	184	T - 249	155,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
183	184	T - 250	12,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66

Tabela D-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE FÍSICA								
			Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	RISCO VULNERABILIDADE FÍSICA
			Peso =	0,05	Peso =	0,12	Peso =	0,52	Peso =	0,31	
184	186	T - 251	58,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
185	186	T - 252	40,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
185	187	T - 253	23,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
186	187	T - 254	45,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
187	188	T - 255	100,00	1	25	4	FOGO	4,000	40	4	3,85
188	190	T - 256	104,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
189	186	T - 257	54,00	1	50	4	PVC	1,000	25	3	1,97
189	190	T - 258	92,00	1	50	4	PVC	1,000	25	3	1,97
189	191	T - 259	109,00	1	50	4	PVC	1,000	20	2	1,66
189	192	T - 260	58,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
190	210	T - 261	56,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
192	199	T - 262	14,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
192	193	T - 263	179,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
193	194	T - 264	7,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
194	195	T - 265	44,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
194	197	T - 266	134,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
195	196	T - 267	100,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
196	197	T - 268	50,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
197	198	T - 269	10,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
198	199	T - 270	220,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
198	202	T - 271	45,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
199	200	T - 272	43,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
200	202	T - 273	201,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
201	209	T - 274	98,00	1	75	3	PVC	1,000	20	2	1,54
201	216	T - 275	58,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
201	227	T - 276	19,00	1	75	3	PVC	1,000	23	4	2,17
202	203	T - 277	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
203	204	T - 278	195,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
203	206	T - 279	43,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
204	205	T - 280	43,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
205	206	T - 281	185,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
205	208	T - 282	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
206	207	T - 283	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
207	208	T - 284	185,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
207	212	T - 285	45,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
208	211	T - 286	44,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
208	209	T - 287	78,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
209	210	T - 288	24,00	1	75	3	FOFO	3,877	40	3	3,36
210	228	T - 289	114,00	1	50	4	PVC	1,000	18	2	1,66
211	212	T - 290	170,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
213	214	T - 291	45,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
213	215	T - 292	170,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
214	216	T - 293	159,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
215	216	T - 294	45,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
216	218	T - 295	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
217	227	T - 296	87,00	1	75	3	PVC	1,000	18	2	1,54
217	231	T - 297	55,00	1	50	4	PVC	1,000	18	2	1,66
217	236	T - 298	124,00	2	50	4	PVC	1,000	18	2	1,71
217	230	T - 299	144,00	2	50	4	PVC	1,000	23	3	2,02
218	219	T - 300	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66

Tabela D-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE FÍSICA								RISCO VULNERABILIDADE FÍSICA
			Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	
			Peso =	0,05	Peso =	0,12	Peso =	0,52	Peso =	0,31	
218	224	T - 301	135,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
219	220	T - 302	127,00	2	50	4	PVC	1,000	11	2	1,71
219	226	T - 303	43,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
220	221	T - 304	44,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
221	222	T - 305	14,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
221	226	T - 306	106,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
222	223	T - 307	108,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
222	225	T - 308	99,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
223	224	T - 309	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
223	225	T - 310	82,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
225	226	T - 311	8,00	1	50	4	PVC	1,000	11	2	1,66
227	229	T - 312	98,00	1	50	4	PVC	1,000	23	3	1,97
228	233	T - 313	108,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
228	229	T - 314	55,00	1	75	3	PVC	1,000	23	3	1,85
229	230	T - 315	55,00	1	75	3	PVC	1,000	23	3	1,85
229	234	T - 316	108,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
230	235	T - 317	108,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
231	232	T - 318	54,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
231	246	T - 319	475,00	4	50	4	PVC	1,000	18	3	2,12
232	247	T - 320	450,00	4	50	4	PVC	1,000	18	3	2,12
233	234	T - 321	55,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
233	237	T - 322	101,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
234	235	T - 323	55,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
234	238	T - 324	98,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
235	236	T - 325	36,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
236	239	T - 326	113,00	1	75	3	PVC	1,000	18	3	1,85
237	238	T - 327	80,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
237	240	T - 328	54,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
238	239	T - 329	34,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
239	241	T - 330	61,00	1	100	3	PVC	1,000	18	3	1,85
240	241	T - 331	83,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
240	242	T - 332	54,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
241	243	T - 333	61,00	1	100	3	PVC	1,000	18	3	1,85
242	243	T - 334	54,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
242	244	T - 335	88,00	1	50	4	PVC	1,000	18	3	1,97
243	244	T - 336	102,00	1	100	3	PVC	1,000	18	3	1,85
244	245	T - 337	24,00	1	100	3	PVC	1,000	18	3	1,85
245	246	T - 338	55,00	1	75	3	PVC	1,000	18	3	1,85
245	266	T - 339	350,00	3	150	2	FOCO	3,123	18	4	3,26
246	247	T - 340	55,00	1	75	3	PVC	1,000	18	3	1,85
246	249	T - 341	120,00	2	75	3	PVC	1,000	14	2	1,59
246	251	T - 342	217,00	2	100	3	PVC	1,000	5	1	1,28
247	248	T - 343	150,00	2	50	4	PVC	1,000	18	3	2,02
249	250	T - 344	203,00	2	50	4	PVC	1,000	14	2	1,71
249	263	T - 345	450,00	4	50	4	PVC	1,000	14	2	1,81
251	252	T - 346	56,00	1	50	4	PVC	1,000	5	1	1,35
251	264	T - 347	88,00	1	75	3	PVC	1,000	5	1	1,23
251	257	T - 348	54,00	1	50	4	PVC	1,000	5	1	1,35
253	264	T - 349	194,00	2	50	4	PVC	1,000	5	1	1,40
253	254	T - 350	54,00	1	50	4	PVC	1,000	5	1	1,35

Tabela D-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE FÍSICA								
			Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	RISCO VULNERABILIDADE FÍSICA
			Peso =	0,05	Peso =	0,12	Peso =	0,52	Peso =	0,31	
253	258	T - 351	54,00	1	50	4	PVC	1,000	5	1	1,35
254	255	T - 352	185,00	2	50	4	PVC	1,000	5	1	1,40
256	257	T - 353	135,00	2	50	4	PVC	1,000	5	1	1,40
257	260	T - 354	54,00	1	75	3	PVC	1,000	5	1	1,23
257	265	T - 355	88,00	1	75	3	PVC	1,000	5	1	1,23
258	265	T - 356	194,00	2	50	4	PVC	1,000	5	1	1,40
258	259	T - 357	54,00	1	50	4	PVC	1,000	5	1	1,35
259	260	T - 358	282,00	3	50	4	PVC	1,000	5	1	1,45
260	261	T - 359	135,00	2	50	4	PVC	1,000	5	1	1,40
266	267-RAP	T - 360	87,00	1	200	2	FOCO	3,123	18	4	3,16

Tabela D-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade Física.

Nó i	Nó j	Trecho k	Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	PERIGO VULNERABILIDADE FÍSICA
			Peso =	0,05	Peso =	0,12	Peso =	0,52	Peso =	0,31	
1	3	T - 1	108,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
2	3	T - 2	36,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
3	6	T - 3	90,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
4	6	T - 4	108,00	1	50	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
5	6	T - 5	90,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
6	8	T - 6	92,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
7	8	T - 7	108,00	1	50	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
8	9	T - 8	108,00	1	50	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
10	9	T - 9	72,00	1	38	4	FOGO	4,000	40,00	4	3,85
9	11	T - 10	104,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
12	13	T - 11	108,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
13	8	T - 12	108,00	1	50	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
13	14	T - 13	108,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
14	9	T - 14	108,00	1	38	4	FOGO	4,000	40,00	4	3,85
14	15	T - 15	104,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
15	100	T - 16	108,00	1	50	4	PVC	1,000	20,00	3	1,97
16	17	T - 17	108,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
17	13	T - 18	100,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
17	18	T - 19	108,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
18	19	T - 20	104,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
18	14	T - 21	116,00	1	38	4	FOGO	4,000	40,00	4	3,85
19	15	T - 22	116,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
20	21	T - 23	108,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
21	17	T - 24	90,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
22	21	T - 25	108,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
22	18	T - 26	104,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
23	19	T - 27	90,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
23	22	T - 28	104,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
24	25	T - 29	108,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
25	21	T - 30	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
26	22	T - 31	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
26	25	T - 32	108,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
26	27	T - 33	104,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
27	23	T - 34	100,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
28	29	T - 35	108,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
29	30	T - 36	108,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
29	25	T - 37	96,00	1	75	3	FOFO	3,877	40,00	3	3,36
30	31	T - 38	104,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
31	32	T - 39	40,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
33	34	T - 40	108,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
34	29	T - 41	94,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
35	34	T - 42	95,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
36	34	T - 43	104,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
36	30	T - 44	120,00	2	50	4	PVC	1,000	18,00	3	2,02
37	36	T - 45	80,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
38	31	T - 46	120,00	2	50	4	PVC	1,000	20,00	3	2,02
38	36	T - 47	100,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
38	40	T - 48	54,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
39	40	T - 49	106,00	1	50	4	PVC	1,000	20,00	3	1,97
41	40	T - 50	54,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
41	42	T - 51	104,00	1	50	4	PVC	1,000	20,00	3	1,97
43	42	T - 52	46,00	1	50	4	PVC	1,000	20,00	3	1,97
44	41	T - 53	104,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
44	45	T - 54	36,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97

Tabela D-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	PERIGO VULNERABILIDADE FÍSICA
44	47	T - 55	58,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
45	46	T - 56	57,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
45	48	T - 57	71,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
46	49	T - 58	152,00	2	50	4	PVC	1,000	18,00	3	2,02
47	48	T - 59	64,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
47	80	T - 60	48,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
48	64	T - 61	48,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
49	50	T - 62	152,00	2	50	4	PVC	1,000	18,00	3	2,02
49	52	T - 63	52,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
50	51	T - 64	56,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
51	52	T - 65	190,00	2	50	4	PVC	1,000	18,00	3	2,02
50	53	T - 66	60,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
53	54	T - 67	116,00	1	75	3	PVC	1,000	14,00	2	1,54
53	64	T - 68	150,00	2	100	3	PVC	1,000	18,00	3	1,90
53	63	T - 69	52,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
54	55	T - 70	44,00	1	75	3	PVC	1,000	14,00	2	1,54
55	56	T - 71	42,00	1	75	3	PVC	1,000	14,00	2	1,54
56	57	T - 72	105,00	1	50	4	PVC	1,000	14,00	2	1,66
56	60	T - 73	55,00	1	50	4	PVC	1,000	14,00	2	1,66
57	58	T - 74	78,00	1	50	4	PVC	1,000	14,00	2	1,66
57	59	T - 75	53,00	1	50	4	PVC	1,000	14,00	2	1,66
59	60	T - 76	90,00	1	50	4	PVC	1,000	14,00	2	1,66
59	61	T - 77	40,00	1	50	4	PVC	1,000	14,00	2	1,66
60	61	T - 78	85,00	1	50	4	PVC	1,000	14,00	2	1,66
61	62	T - 79	42,00	1	50	4	PVC	1,000	14,00	2	1,66
63	65	T - 80	132,00	2	50	4	PVC	1,000	18,00	3	2,02
64	65	T - 81	52,00	1	100	3	PVC	1,000	18,00	3	1,85
66	67	T - 82	110,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
67	69	T - 83	42,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
68	69	T - 84	100,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
69	71	T - 85	40,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
70	71	T - 86	120,00	2	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,33
71	75	T - 87	52,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
72	73	T - 88	120,00	2	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,71
73	74	T - 89	70,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
74	75	T - 90	120,00	2	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,33
75	77	T - 91	70,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
76	77	T - 92	91,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
77	78	T - 93	80,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
78	79	T - 94	40,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
78	86	T - 95	130,00	2	75	3	PVC	1,000	26,00	4	2,21
79	80	T - 96	60,00	1	50	4	PVC	1,000	26,00	4	2,28
80	65	T - 97	30,00	1	100	3	PVC	1,000	18,00	3	1,85
81	80	T - 98	55,00	1	100	3	PVC	1,000	18,00	3	1,85
81	87	T - 99	170,00	2	100	3	PVC	1,000	18,00	3	1,90
82	83	T - 100	40,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
83	84	T - 101	59,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
83	79	T - 102	28,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
83	91	T - 103	170,00	2	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,33
84	85	T - 104	80,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
84	32	T - 105	178,00	2	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,33
84	90	T - 106	170,00	2	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,33
85	42	T - 107	96,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28

Tabela D-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade Física (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	PERIGO VULNERABILIDADE FÍSICA
85	44	T - 108	97,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
86	91	T - 109	78,00	1	75	3	PVC	1,000	26,00	4	2,17
87	90	T - 110	63,00	1	100	3	PVC	1,000	18,00	3	1,85
88	89	T - 111	84,00	1	50	4	PVC	1,000	25,00	4	2,28
89	90	T - 112	52,00	1	50	4	PVC	1,000	18,00	3	1,97
90	94	T - 113	115,00	1	100	3	PVC	1,000	18,00	3	1,85
91	92	T - 114	63,00	1	75	3	PVC	1,000	26,00	4	2,17
92	98	T - 115	140,00	2	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,53
92	93	T - 116	115,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
93	114	T - 117	60,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
94	115	T - 118	65,00	1	100	3	PVC	1,000	18,00	3	1,85
95	97	T - 119	60,00	1	50	4	PVC	1,000	20,00	3	1,97
96	97	T - 120	62,00	1	50	4	PVC	1,000	20,00	3	1,97
97	19	T - 121	98,00	1	50	4	PVC	1,000	20,00	3	1,97
98	97	T - 122	90,00	1	50	4	PVC	1,000	20,00	3	1,97
98	23	T - 123	98,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
99	11	T - 124	49,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
100	11	T - 125	8,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
100	104	T - 126	180,00	2	50	4	PVC	1,000	17,00	3	2,02
101	102	T - 127	49,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
102	11	T - 128	95,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
102	103	T - 129	85,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
103	104	T - 130	8,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
103	108	T - 131	66,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
104	106	T - 132	69,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
105	106	T - 133	54,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
107	106	T - 134	106,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
107	15	T - 135	95,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
108	109	T - 136	214,00	2	50	4	PVC	1,000	17,00	3	2,02
108	110	T - 137	66,00	1	50	4	PVC	1,000	17,00	3	1,97
109	107	T - 138	60,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
109	111	T - 139	60,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
110	111	T - 140	254,00	3	50	4	PVC	1,000	17,00	3	2,07
111	113	T - 141	60,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
112	113	T - 142	156,00	2	50	4	PVC	1,000	17,00	3	2,02
113	114	T - 143	65,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
114	115	T - 144	6,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
115	131	T - 145	6,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48
116	118	T - 146	281,00	3	50	4	PVC	1,000	11,00	2	1,76
117	118	T - 147	52,00	1	50	4	PVC	1,000	11,00	2	1,66
118	120	T - 148	63,00	1	50	4	PVC	1,000	11,00	2	1,66
119	120	T - 149	72,00	1	50	4	PVC	1,000	11,00	2	1,66
120	122	T - 150	60,00	1	50	4	PVC	1,000	11,00	2	1,66
121	122	T - 151	70,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
122	123	T - 152	60,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
123	124	T - 153	60,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
125	126	T - 154	58,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
126	123	T - 155	50,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
127	126	T - 156	55,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
128	127	T - 157	65,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
129	130	T - 158	110,00	1	50	4	PVC	1,000	13,00	2	1,66
130	128	T - 159	65,00	1	75	3	PVC	1,000	13,00	2	1,54
131	130	T - 160	60,00	1	75	3	PVC	1,000	13,00	2	1,54
132	131	T - 161	12,00	1	125	4	FOFO	3,877	40,00	3	3,48

Tabela D-3 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-2 – Vulnerabilidade Física.

Nó i	Nó j	Trecho k	Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	PERIGO VULNERABILIDADE FÍSICA
17	16	T - 1	320,00	3	50	4	PVC	1,000	16,00	3	2,07
19	17	T - 2	53,00	1	50	4	PVC	1,000	16,00	3	1,97
19	18	T - 3	325,00	3	50	4	PVC	1,000	16,00	3	2,07
21	19	T - 4	53,00	1	75	3	PVC	1,000	16,00	3	1,85
21	20	T - 5	332,00	3	50	4	PVC	1,000	16,00	3	2,07
23	21	T - 6	53,00	1	75	3	PVC	1,000	16,00	3	1,85
23	22	T - 7	340,00	3	50	4	PVC	1,000	16,00	3	2,07
25	23	T - 8	53,00	1	100	3	PVC	1,000	16,00	3	1,85
25	24	T - 9	345,00	3	50	4	PVC	1,000	16,00	3	2,07
27	25	T - 10	48,00	1	100	3	PVC	1,000	16,00	3	1,85
27	26	T - 11	350,00	3	50	4	PVC	1,000	16,00	3	2,07
28	27	T - 12	23,00	1	100	3	PVC	1,000	16,00	3	1,85
28	15	T - 13	130,00	2	100	3	PVC	1,000	16,00	3	1,90
29	28	T - 14	95,00	1	150	2	FOFO	3,877	16,00	2	2,94
30	29	T - 15	126,00	2	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,79
31	30	T - 16	105,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
32	31	T - 17	110,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
33	32	T - 18	96,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
34	33	T - 19	105,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
35	34	T - 20	100,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
36	35	T - 21	100,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
37	36	T - 22	104,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
38	37	T - 23	100,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
39	38	T - 24	105,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
40	39	T - 25	104,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
41	40	T - 26	103,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
42	41	T - 27	106,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
43	42	T - 28	35,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
44	43	T - 29	115,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
45	44	T - 30	38,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74
46	45 - RAP	T - 31	20,00	1	150	2	PVC	1,000	16,00	3	1,74

Tabela D-4 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-2 – Vulnerabilidade Física.

Nó i	Nó j	Trecho k	Comprimento (m)	Perigo Comprimento da tubulação	Diâmetro (mm)	Perigo Diâmetro	Material	Perigo Material	Idade (anos)	Perigo Idade	PERIGO VULNERABILIDADE FÍSICA
2	1	T - 1	95,00	1	50	4	PVC	1,000	12	2	1,66
4	2	T - 2	58,00	1	50	4	PVC	1,000	12	2	1,66
4	3	T - 3	95,00	1	50	4	PVC	1,000	12	2	1,66
6	4	T - 4	58,00	1	50	4	PVC	1,000	12	2	1,66
6	5	T - 5	95,00	1	50	4	PVC	1,000	16	3	1,97
8	6	T - 6	52,00	1	50	4	PVC	1,000	16	3	1,97
8	7	T - 7	93,00	1	50	4	PVC	1,000	16	3	1,97
10	8	T - 8	52,00	1	75	3	PVC	1,000	16	3	1,85
10	9	T - 9	95,00	1	50	4	PVC	1,000	16	3	1,97
12	10	T - 10	46,00	1	75	3	PVC	1,000	16	3	1,85
12	11	T - 11	90,00	1	50	4	PVC	1,000	16	3	1,97
14	12	T - 12	23,00	1	75	3	PVC	1,000	16	3	1,85
14	13	T - 13	95,00	1	50	4	PVC	1,000	16	3	1,97
15	14	T - 14	375,00	4	75	3	PVC	1,000	16	3	2,00

Tabela D-5 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Hidráulica (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE HIDRÁULICA									
			Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
2	1	T - 1	0,00	1,00	44,53	4,00	24,14	21,07	35,16	32,10	1,00	1,66
4	2	T - 2	0,00	1,00	44,53	4,00	24,59	24,14	35,60	35,16	1,00	1,66
4	3	T - 3	2,00	2,00	44,53	4,00	24,59	22,78	35,60	33,80	1,00	1,76
6	4	T - 4	1,00	2,00	44,53	4,00	25,11	24,59	36,03	35,60	1,00	1,76
6	5	T - 5	6,00	4,00	44,53	4,00	25,11	20,17	36,03	31,10	1,00	1,94
8	6	T - 6	0,00	1,00	44,53	4,00	25,76	25,11	36,46	36,03	1,00	1,66
8	7	T - 7	3,00	3,00	44,53	4,00	25,76	21,23	36,46	31,93	1,00	1,85
10	8	T - 8	0,00	1,00	44,53	4,00	25,45	25,76	36,09	36,46	1,00	1,66
10	9	T - 9	5,00	4,00	44,53	4,00	25,45	22,85	36,09	33,49	1,00	1,94
12	10	T - 10	0,00	1,00	44,53	4,00	25,92	25,45	36,47	36,09	1,00	1,66
12	11	T - 11	1,00	2,00	44,53	4,00	25,92	23,33	36,47	33,88	1,00	1,76
14	12	T - 12	0,00	1,00	44,53	4,00	26,48	25,92	36,90	36,47	1,00	1,66
14	13	T - 13	0,00	1,00	44,53	4,00	26,48	23,67	36,90	34,10	1,00	1,66
16	14	T - 14	0,00	1,00	44,53	4,00	27,09	26,48	37,34	36,90	1,00	1,66
16	15	T - 15	0,00	1,00	44,53	4,00	27,09	23,45	37,34	33,71	1,00	1,66
18	16	T - 16	0,00	1,00	44,53	4,00	27,73	27,09	37,77	37,34	1,00	1,66
18	17	T - 17	1,00	2,00	44,53	4,00	27,73	23,45	37,77	33,49	1,00	1,76
20	18	T - 18	0,00	1,00	44,53	4,00	28,24	27,73	38,21	37,77	1,00	1,66
20	19	T - 19	0,00	1,00	44,53	4,00	28,24	23,73	38,21	33,70	1,00	1,66
21	20	T - 20	2,00	2,00	44,53	4,00	28,17	28,24	38,00	38,21	1,00	1,76
22	21	T - 21	0,00	1,00	44,53	4,00	37,31	28,17	47,10	38,00	1,00	1,66
23	22	T - 22	0,00	1,00	44,53	4,00	37,39	37,31	47,00	47,10	1,00	1,66
24	23	T - 23	0,00	1,00	44,53	4,00	28,57	37,39	38,00	47,00	1,00	1,66
24	78	T - 24	0,00	1,00	44,53	4,00	28,84	32,07	38,00	41,50	1,00	1,66
24	94	T - 25	0,00	1,00	44,53	4,00	16,14	28,84	24,00	38,00	1,00	1,66
27	25	T - 26	9,00	4,00	44,53	4,00	40,11	50,10	54,00	64,00	2,00	2,63
27	26	T - 27	0,00	1,00	44,53	4,00	40,11	33,11	54,00	47,00	2,00	2,35
27	28	T - 28	2,00	2,00	44,53	4,00	34,78	32,78	56,00	54,00	2,00	2,44
27	30	T - 29	1,00	2,00	44,53	4,00	34,84	40,11	48,70	54,00	2,00	2,44
28	29	T - 30	1,00	2,00	44,53	4,00	33,59	34,78	54,80	56,00	2,00	2,44
29	30	T - 31	1,00	2,00	44,53	4,00	33,59	27,49	54,80	48,70	2,00	2,44
29	31	T - 32	0,00	1,00	44,53	4,00	30,94	33,59	52,10	54,80	2,00	2,35
30	32	T - 33	0,00	1,00	44,53	4,00	32,18	34,84	46,00	48,70	1,00	1,66
31	32	T - 34	4,00	3,00	44,53	4,00	33,64	27,54	54,80	48,70	2,00	2,54
31	34	T - 35	0,00	1,00	44,53	4,00	28,97	33,64	50,00	54,80	2,00	2,35
32	40	T - 36	0,00	1,00	44,53	4,00	32,35	28,18	46,00	42,00	1,00	1,66
33	36	T - 37	1,00	2,00	44,53	4,00	32,28	33,18	53,10	54,00	2,00	2,44
33	34	T - 38	0,00	1,00	44,53	4,00	28,97	32,97	50,00	54,00	2,00	2,35
34	39	T - 39	1,00	2,00	44,53	4,00	27,20	28,97	48,00	50,00	2,00	2,44
34	35	T - 40	2,00	2,00	44,53	4,00	28,97	25,97	50,00	47,00	2,00	2,44
36	38	T - 41	0,00	1,00	44,53	4,00	28,18	32,28	49,00	53,10	2,00	2,35
37	38	T - 42	0,00	1,00	44,53	4,00	28,18	30,18	49,00	51,00	2,00	2,35
38	39	T - 43	0,00	1,00	44,53	4,00	27,20	27,18	48,00	48,00	1,00	1,66
39	40	T - 44	0,00	1,00	44,53	4,00	28,35	34,34	42,00	48,00	1,00	1,66
39	44	T - 45	0,00	1,00	44,53	4,00	26,22	27,20	46,00	48,00	1,00	1,66
40	41	T - 46	6,00	4,00	44,53	4,00	24,66	28,35	37,90	42,00	1,00	1,94
40	45	T - 47	1,00	2,00	44,53	4,00	28,76	29,26	41,50	42,00	1,00	1,76
41	42	T - 48	0,00	1,00	44,53	4,00	24,69	24,66	37,90	37,90	1,00	1,66
41	46	T - 49	3,00	3,00	44,53	4,00	24,81	25,21	37,50	37,90	1,00	1,85
42	51	T - 50	0,00	1,00	44,53	4,00	26,37	24,69	38,20	37,90	1,00	1,66
43	44	T - 51	1,00	2,00	44,53	4,00	26,22	28,22	46,00	48,00	1,00	1,76
44	45	T - 52	4,00	3,00	44,53	4,00	26,22	21,72	46,00	41,50	1,00	1,85
44	48	T - 53	1,00	2,00	44,53	4,00	27,51	26,22	45,50	46,00	1,00	1,76
45	46	T - 54	3,00	3,00	44,53	4,00	24,81	28,76	37,50	41,50	1,00	1,85
45	49	T - 55	1,00	2,00	44,53	4,00	28,40	28,99	40,90	41,50	1,00	1,76
46	50	T - 56	1,00	2,00	44,53	4,00	25,75	24,81	38,20	37,50	1,00	1,76
47	48	T - 57	0,00	1,00	44,53	4,00	27,51	30,01	45,50	48,00	1,00	1,66
48	49	T - 58	10,00	4,00	44,53	4,00	27,51	23,51	45,50	41,50	1,00	1,94
48	54	T - 59	2,00	2,00	44,53	4,00	31,01	27,51	46,20	45,50	1,00	1,76
49	50	T - 60	1,00	2,00	44,53	4,00	25,75	28,40	38,20	40,90	1,00	1,76

Tabela D-5– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Hidráulica (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE HIDRÁULICA									
			Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
49	55	T - 61	3,00	3,00	44,53	4,00	30,18	29,17	41,90	40,90	1,00	1,85
50	51	T - 62	0,00	1,00	44,53	4,00	25,75	25,75	38,20	38,20	1,00	1,66
51	57	T - 63	0,00	1,00	44,53	4,00	23,51	26,37	35,20	38,20	1,00	1,66
52	53	T - 64	2,00	2,00	44,53	4,00	43,77	46,69	59,00	62,00	2,00	2,44
53	54	T - 65	6,00	4,00	44,53	4,00	31,01	43,77	46,20	59,00	2,00	2,63
53	84	T - 66	0,00	1,00	44,53	4,00	37,21	38,58	57,00	59,00	2,00	2,35
54	55	T - 67	0,00	1,00	44,53	4,00	30,18	34,48	41,90	46,20	1,00	1,66
54	61	T - 68	1,00	2,00	44,53	4,00	34,84	31,01	49,90	46,20	1,00	1,76
55	56	T - 69	1,00	2,00	44,53	4,00	23,50	30,18	35,20	41,90	1,00	1,76
55	63	T - 70	0,00	1,00	44,53	4,00	36,50	28,15	50,20	41,90	2,00	2,35
56	50	T - 71	2,00	2,00	44,53	4,00	23,50	25,75	35,20	38,20	1,00	1,76
56	57	T - 72	0,00	1,00	44,53	4,00	23,51	23,50	35,20	35,20	1,00	1,66
56	64	T - 73	1,00	2,00	44,53	4,00	36,94	25,09	47,00	35,20	1,00	1,76
57	58	T - 74	0,00	1,00	44,53	4,00	29,30	25,10	39,40	35,20	1,00	1,66
57	65	T - 75	0,00	1,00	44,53	4,00	36,77	23,51	47,00	35,20	1,00	1,66
58	59	T - 76	0,00	1,00	44,53	4,00	29,30	23,69	39,40	34,00	1,00	1,66
58	66	T - 77	1,00	2,00	44,53	4,00	33,18	29,30	43,00	39,40	1,00	1,76
60	61	T - 78	0,00	1,00	44,53	4,00	34,84	34,63	49,90	49,70	1,00	1,66
61	62	T - 79	5,00	4,00	44,53	4,00	36,57	34,84	51,50	49,90	2,00	2,63
62	63	T - 80	0,00	1,00	44,53	4,00	36,57	35,27	51,50	50,20	2,00	2,35
62	75	T - 81	3,00	3,00	44,53	4,00	35,28	36,57	50,00	51,50	2,00	2,54
63	64	T - 82	0,00	1,00	44,53	4,00	36,94	40,14	47,00	50,20	2,00	2,35
63	76	T - 83	0,00	1,00	44,53	4,00	32,94	36,50	46,50	50,20	2,00	2,35
64	65	T - 84	0,00	1,00	44,53	4,00	36,77	36,77	47,00	47,00	1,00	1,66
64	77	T - 85	2,00	2,00	44,53	4,00	31,66	36,94	41,50	47,00	1,00	1,76
65	66	T - 86	0,00	1,00	44,53	4,00	33,18	37,17	43,00	47,00	1,00	1,66
65	78	T - 87	0,00	1,00	44,53	4,00	32,07	36,77	41,50	47,00	1,00	1,66
66	67	T - 88	3,00	3,00	44,53	4,00	22,34	33,18	32,00	43,00	1,00	1,85
67	82	T - 89	1,00	2,00	44,53	4,00	19,35	22,34	28,90	32,00	1,00	1,76
68	67	T - 90	0,00	1,00	44,53	4,00	22,34	21,34	32,00	31,00	1,00	1,66
69	80	T - 91	3,00	3,00	44,53	4,00	27,16	27,09	37,00	37,00	1,00	1,85
69	70	T - 92	0,00	1,00	44,53	4,00	27,09	28,43	37,00	39,90	1,00	1,66
70	72	T - 93	1,00	2,00	44,53	4,00	28,43	21,44	39,90	33,00	1,00	1,76
71	70	T - 94	0,00	1,00	44,53	4,00	28,43	19,79	39,90	31,30	1,00	1,66
73	74	T - 95	0,00	1,00	44,53	4,00	34,05	33,10	48,80	48,00	1,00	1,66
74	75	T - 96	0,00	1,00	44,53	4,00	35,28	34,05	50,00	48,80	2,00	2,35
75	76	T - 97	0,00	1,00	44,53	4,00	32,94	35,28	46,50	50,00	2,00	2,35
76	77	T - 98	0,00	1,00	44,53	4,00	31,66	32,94	41,50	46,50	1,00	1,66
76	88	T - 99	1,00	2,00	44,53	4,00	32,94	30,98	46,50	45,00	1,00	1,76
77	78	T - 100	2,00	2,00	44,53	4,00	32,07	31,66	41,50	41,50	1,00	1,76
77	89	T - 101	0,00	1,00	44,53	4,00	31,66	30,01	41,50	40,00	1,00	1,66
78	79	T - 102	0,00	1,00	44,53	4,00	28,15	31,65	38,00	41,50	1,00	1,66
79	80	T - 103	3,00	3,00	44,53	4,00	27,16	28,15	37,00	38,00	1,00	1,85
79	83	T - 104	3,00	3,00	44,53	4,00	28,15	33,15	38,00	43,00	1,00	1,85
80	81	T - 105	0,00	1,00	44,53	4,00	22,27	27,16	32,00	37,00	1,00	1,66
80	91	T - 106	0,00	1,00	44,53	4,00	27,16	21,66	37,00	31,50	1,00	1,66
81	92	T - 107	2,00	2,00	44,53	4,00	22,27	18,26	32,00	28,00	1,00	1,76
81	82	T - 108	0,00	1,00	44,53	4,00	19,35	22,27	28,90	32,00	1,00	1,66
82	93	T - 109	3,00	3,00	44,53	4,00	15,16	19,35	24,00	28,90	1,00	1,85
84	107	T - 110	3,00	3,00	44,53	4,00	37,21	33,21	57,00	53,00	2,00	2,54
84	86	T - 111	0,00	1,00	44,53	4,00	30,51	37,21	47,50	57,00	2,00	2,35
85	86	T - 112	2,00	2,00	44,53	4,00	30,51	30,28	47,50	47,50	1,00	1,76
86	88	T - 113	0,00	1,00	44,53	4,00	30,98	30,51	45,00	47,50	1,00	1,66
87	86	T - 114	2,00	2,00	44,53	4,00	30,51	31,77	47,50	49,00	1,00	1,76
88	89	T - 115	4,00	3,00	44,53	4,00	30,01	35,01	40,00	45,00	1,00	1,85
88	101	T - 116	4,00	3,00	44,53	4,00	30,98	31,28	45,00	45,30	1,00	1,85
89	90	T - 117	2,00	2,00	44,53	4,00	25,80	28,80	37,00	40,00	1,00	1,76
89	100	T - 118	2,00	2,00	44,53	4,00	30,16	24,65	40,00	34,50	1,00	1,76
90	99	T - 119	0,00	1,00	44,53	4,00	26,34	25,80	37,50	37,00	1,00	1,66
90	91	T - 120	3,00	3,00	44,53	4,00	21,04	26,54	31,50	37,00	1,00	1,85

Tabela D-5– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Hidráulica (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE HIDRÁULICA									
			Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
91	92	T - 121	6,00	4,00	44,53	4,00	18,99	22,49	28,00	31,50	1,00	1,94
91	98	T - 122	2,00	2,00	44,53	4,00	23,58	21,04	34,00	31,50	1,00	1,76
92	93	T - 123	0,00	1,00	44,53	4,00	15,16	19,16	24,00	28,00	1,00	1,66
92	97	T - 124	3,00	3,00	44,53	4,00	19,05	19,99	28,00	29,00	1,00	1,85
93	96	T - 125	2,00	2,00	44,53	4,00	17,01	15,16	25,00	24,00	1,00	1,76
94	95	T - 126	0,00	1,00	44,53	4,00	16,65	16,14	24,00	24,00	1,00	1,66
95	139	T - 127	0,00	1,00	44,53	4,00	17,77	16,65	25,00	24,00	1,00	1,66
96	106	T - 128	0,00	1,00	44,53	4,00	20,08	17,01	27,00	25,00	1,00	1,66
96	97	T - 129	0,00	1,00	44,53	4,00	17,01	21,00	25,00	29,00	1,00	1,66
97	98	T - 130	2,00	2,00	44,53	4,00	20,05	25,05	29,00	34,00	1,00	1,76
97	123	T - 131	1,00	2,00	44,53	4,00	21,47	20,05	30,20	29,00	1,00	1,76
98	99	T - 132	0,00	1,00	44,53	4,00	23,58	27,08	34,00	37,50	1,00	1,66
98	121	T - 133	3,00	3,00	44,53	4,00	23,78	25,08	34,00	35,50	1,00	1,85
99	100	T - 134	0,00	1,00	44,53	4,00	26,84	23,34	38,00	34,50	1,00	1,66
99	120	T - 135	0,00	1,00	44,53	4,00	29,04	26,34	40,00	37,50	1,00	1,66
100	101	T - 136	3,00	3,00	44,53	4,00	22,87	25,87	34,50	37,50	1,00	1,85
100	119	T - 137	0,00	1,00	44,53	4,00	26,54	22,87	38,10	34,50	1,00	1,66
101	102	T - 138	0,00	1,00	44,53	4,00	32,96	34,90	45,30	47,50	1,00	1,66
101	118	T - 139	0,00	1,00	44,53	4,00	33,71	32,96	46,00	45,30	1,00	1,66
102	103	T - 140	3,00	3,00	44,53	4,00	34,90	34,40	47,50	47,00	1,00	1,85
102	104	T - 141	4,00	3,00	44,53	4,00	34,90	35,36	47,50	48,00	1,00	1,85
104	105	T - 143	0,00	1,00	44,53	4,00	35,36	35,36	48,00	48,00	1,00	1,66
106	266	T - 144	0,00	1,00	44,53	4,00	0,50	20,08	4,70	27,00	3,00	3,03
106	123	T - 145	0,00	1,00	44,53	4,00	20,08	21,47	27,00	30,20	1,00	1,66
106	140	T - 146	0,00	1,00	44,53	4,00	20,08	18,25	27,00	27,00	1,00	1,66
106	139	T - 147	0,00	1,00	44,53	4,00	20,08	17,77	27,00	25,00	1,00	1,66
107	108	T - 148	0,00	1,00	44,53	4,00	10,09	9,69	22,40	22,00	3,00	3,03
107	112	T - 149	0,00	1,00	44,53	4,00	16,70	30,09	29,00	42,40	1,00	1,66
108	109	T - 150	0,00	1,00	44,53	4,00	9,69	11,69	22,00	24,00	3,00	3,03
109	110	T - 151	0,00	1,00	44,53	4,00	17,68	11,68	30,00	24,00	1,00	1,66
110	111	T - 152	0,00	1,00	44,53	4,00	17,69	17,68	30,00	30,00	1,00	1,66
111	112	T - 153	0,00	1,00	44,53	4,00	16,70	17,69	29,00	30,00	1,00	1,66
113	112	T - 154	0,00	1,00	44,53	4,00	29,70	16,70	42,00	29,00	1,00	1,66
113	115	T - 155	0,00	1,00	44,53	4,00	43,70	29,70	56,00	42,00	2,00	2,35
114	115	T - 156	3,00	3,00	44,53	4,00	43,70	39,70	56,00	52,00	2,00	2,54
115	116	T - 157	7,00	4,00	44,53	4,00	35,21	43,70	47,50	56,00	2,00	2,63
116	117	T - 158	0,00	1,00	44,53	4,00	34,71	35,21	47,00	47,50	1,00	1,66
117	118	T - 159	0,00	1,00	44,53	4,00	33,71	34,71	46,00	47,00	1,00	1,66
118	124	T - 160	0,00	1,00	44,53	4,00	33,71	34,57	46,00	47,00	1,00	1,66
118	119	T - 161	2,00	2,00	44,53	4,00	26,54	33,71	38,10	46,00	1,00	1,76
118	131	T - 162	2,00	2,00	44,53	4,00	33,71	35,58	46,00	48,00	1,00	1,76
119	120	T - 163	0,00	1,00	44,53	4,00	29,04	26,54	40,00	38,10	1,00	1,66
119	132	T - 164	3,00	3,00	44,53	4,00	35,25	27,13	46,20	38,10	1,00	1,85
120	121	T - 165	2,00	2,00	44,53	4,00	25,28	29,04	35,50	40,00	1,00	1,76
121	123	T - 166	3,00	3,00	44,53	4,00	21,47	25,28	30,20	35,50	1,00	1,85
121	135	T - 167	0,00	1,00	44,53	4,00	25,28	27,14	35,50	38,00	1,00	1,66
122	123	T - 168	0,00	1,00	44,53	4,00	21,47	23,27	30,20	32,00	1,00	1,66
124	129	T - 169	0,00	1,00	44,53	4,00	34,57	37,45	47,00	50,00	2,00	2,35
125	126	T - 170	3,00	3,00	44,53	4,00	41,19	39,19	54,00	52,00	2,00	2,54
126	128	T - 171	1,00	2,00	44,53	4,00	39,45	41,19	52,20	54,00	2,00	2,44
126	144	T - 172	0,00	1,00	44,53	4,00	41,19	43,18	54,00	56,00	2,00	2,35
127	128	T - 173	0,00	1,00	44,53	4,00	39,45	37,25	52,20	50,00	2,00	2,35
128	129	T - 174	8,00	4,00	44,53	4,00	37,45	39,45	50,00	52,20	2,00	2,63
128	145	T - 175	0,00	1,00	44,53	4,00	39,45	41,15	52,20	53,90	2,00	2,35
129	130	T - 176	1,00	2,00	44,53	4,00	37,45	35,45	50,00	48,00	2,00	2,44
131	149	T - 177	0,00	1,00	44,53	4,00	35,58	35,68	48,00	48,10	1,00	1,66
131	132	T - 178	1,00	2,00	44,53	4,00	35,25	37,05	46,20	48,00	1,00	1,76
132	134	T - 179	2,00	2,00	44,53	4,00	31,09	35,25	42,00	46,20	1,00	1,76
132	150	T - 180	1,00	2,00	44,53	4,00	35,25	35,05	46,20	46,00	1,00	1,76

Tabela D-5– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Hidráulica (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE HIDRÁULICA									
			Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
133	134	T - 181	2,00	2,00	44,53	4,00	31,09	29,08	42,00	40,00	1,00	1,76
134	135	T - 182	1,00	2,00	44,53	4,00	27,14	31,09	38,00	42,00	1,00	1,76
134	151	T - 183	0,00	1,00	44,53	4,00	31,09	31,08	42,00	42,00	1,00	1,66
135	152	T - 184	1,00	2,00	44,53	4,00	19,02	20,52	36,50	38,00	1,00	1,76
136	137	T - 185	1,00	2,00	44,53	4,00	21,29	27,27	32,00	38,00	1,00	1,76
137	138	T - 186	0,00	1,00	44,53	4,00	16,49	21,29	27,00	32,00	1,00	1,66
137	153	T - 187	0,00	1,00	44,53	4,00	13,69	14,69	31,00	32,00	1,00	1,66
138	140	T - 188	0,00	1,00	44,53	4,00	18,25	16,49	27,00	27,00	1,00	1,66
138	154	T - 189	1,00	2,00	44,53	4,00	16,49	12,18	27,00	26,00	1,00	1,76
140	141	T - 190	0,00	1,00	44,53	4,00	18,25	18,25	27,00	27,00	1,00	1,66
143	144	T - 192	0,00	1,00	44,53	4,00	42,15	42,55	56,00	56,40	2,00	2,35
144	146	T - 193	1,00	2,00	44,53	4,00	40,15	42,15	54,00	56,00	2,00	2,44
146	155	T - 194	0,00	1,00	44,53	4,00	41,45	40,15	55,30	54,00	2,00	2,35
146	147	T - 195	2,00	2,00	44,53	4,00	37,20	40,15	51,00	54,00	2,00	2,44
147	148	T - 196	8,00	4,00	44,53	4,00	34,58	37,20	48,10	51,00	2,00	2,63
147	156	T - 197	0,00	1,00	44,53	4,00	38,20	37,20	52,00	51,00	2,00	2,35
147	129	T - 198	2,00	2,00	44,53	4,00	37,45	38,45	50,00	51,00	2,00	2,44
148	149	T - 199	0,00	1,00	44,53	4,00	34,58	34,58	48,10	48,10	1,00	1,66
148	118	T - 200	0,00	1,00	44,53	4,00	33,71	34,58	46,00	48,10	1,00	1,66
148	157	T - 201	0,00	1,00	44,53	4,00	34,58	34,21	48,10	48,00	1,00	1,66
149	150	T - 202	2,00	2,00	44,53	4,00	35,68	33,57	48,10	46,00	1,00	1,76
150	151	T - 203	1,00	2,00	44,53	4,00	24,00	28,49	41,50	46,00	1,00	1,76
150	158	T - 204	3,00	3,00	44,53	4,00	33,57	30,57	46,00	43,00	1,00	1,85
151	152	T - 205	0,00	1,00	44,53	4,00	19,02	24,00	36,50	41,50	1,00	1,66
151	160	T - 206	0,00	1,00	44,53	4,00	24,00	22,50	41,50	40,00	1,00	1,66
152	153	T - 207	0,00	1,00	44,53	4,00	13,69	19,02	31,00	36,50	1,00	1,66
152	161	T - 208	0,00	1,00	44,53	4,00	19,02	19,52	36,50	37,00	1,00	1,66
153	154	T - 209	1,00	2,00	44,53	4,00	12,18	13,69	26,00	31,00	1,00	1,76
153	162	T - 210	0,00	1,00	44,53	4,00	13,69	13,79	31,00	31,10	1,00	1,66
154	163	T - 211	2,00	2,00	44,53	4,00	12,18	10,35	26,00	27,00	1,00	1,76
156	157	T - 212	2,00	2,00	44,53	4,00	34,21	38,21	48,00	52,00	2,00	2,44
157	158	T - 213	5,00	4,00	44,53	4,00	34,21	29,18	48,00	43,00	1,00	1,94
157	165	T - 214	0,00	1,00	44,53	4,00	34,21	35,12	48,00	49,00	1,00	1,66
158	166	T - 215	1,00	2,00	44,53	4,00	29,18	32,18	43,00	46,00	1,00	1,76
159	160	T - 216	3,00	3,00	44,53	4,00	21,21	24,20	40,00	43,00	1,00	1,85
159	167	T - 217	0,00	1,00	44,53	4,00	24,20	27,19	43,00	46,00	1,00	1,66
160	161	T - 218	4,00	3,00	44,53	4,00	18,39	21,21	37,00	40,00	1,00	1,85
160	169	T - 219	0,00	1,00	44,53	4,00	21,21	20,17	40,00	39,00	1,00	1,66
161	185	T - 220	1,00	2,00	44,53	4,00	18,39	13,33	37,00	32,00	1,00	1,76
161	162	T - 221	0,00	1,00	44,53	4,00	13,33	18,39	31,10	37,00	1,00	1,66
162	163	T - 222	2,00	2,00	44,53	4,00	10,35	13,33	27,00	31,10	1,00	1,76
162	187	T - 223	0,00	1,00	44,53	4,00	10,71	10,70	32,00	32,00	1,00	1,66
163	188	T - 224	2,00	2,00	44,53	4,00	10,35	9,71	27,00	28,00	3,00	3,13
164	165	T - 225	4,00	3,00	44,53	4,00	39,12	34,43	53,00	49,00	2,00	2,54
164	171	T - 226	2,00	2,00	44,53	4,00	38,43	37,37	53,00	52,20	2,00	2,44
165	166	T - 227	1,00	2,00	44,53	4,00	35,12	32,12	49,00	46,00	1,00	1,76
167	168	T - 228	0,00	1,00	44,53	4,00	27,16	27,16	46,00	46,00	1,00	1,66
167	169	T - 229	0,00	1,00	44,53	4,00	20,17	27,16	39,00	46,00	1,00	1,66
168	170	T - 230	1,00	2,00	44,53	4,00	15,96	22,96	39,00	46,00	1,00	1,76
168	173	T - 231	0,00	1,00	44,53	4,00	23,95	22,95	47,00	46,00	1,00	1,66
169	170	T - 232	0,00	1,00	44,53	4,00	20,17	20,17	39,00	39,00	1,00	1,66
170	175	T - 233	0,00	1,00	44,53	4,00	15,58	15,96	38,60	39,00	1,00	1,66
171	172	T - 234	4,00	3,00	44,53	4,00	37,37	31,48	52,20	47,00	2,00	2,54
172	177	T - 235	0,00	1,00	44,53	4,00	31,48	33,38	47,00	49,00	1,00	1,66
173	174	T - 236	0,00	1,00	44,53	4,00	23,99	23,99	47,00	47,00	1,00	1,66
173	175	T - 237	0,00	1,00	44,53	4,00	15,58	23,95	38,60	47,00	1,00	1,66
174	176	T - 238	1,00	2,00	44,53	4,00	15,60	23,99	38,60	47,00	1,00	1,76
174	181	T - 239	0,00	1,00	44,53	4,00	26,16	24,16	49,00	47,00	1,00	1,66
175	176	T - 240	0,00	1,00	44,53	4,00	15,60	15,58	38,60	38,60	1,00	1,66

Tabela D-5– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Hidráulica (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE HIDRÁULICA									
			Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
			Peso =	0,09	Peso =	0,22			Peso =		0,69	
133	134	T - 181	2,00	2,00	44,53	4,00	31,09	29,08	42,00	40,00	1,00	1,76
134	135	T - 182	1,00	2,00	44,53	4,00	27,14	31,09	38,00	42,00	1,00	1,76
134	151	T - 183	0,00	1,00	44,53	4,00	31,09	31,08	42,00	42,00	1,00	1,66
135	152	T - 184	1,00	2,00	44,53	4,00	19,02	20,52	36,50	38,00	1,00	1,76
136	137	T - 185	1,00	2,00	44,53	4,00	21,29	27,27	32,00	38,00	1,00	1,76
137	138	T - 186	0,00	1,00	44,53	4,00	16,49	21,29	27,00	32,00	1,00	1,66
137	153	T - 187	0,00	1,00	44,53	4,00	13,69	14,69	31,00	32,00	1,00	1,66
138	140	T - 188	0,00	1,00	44,53	4,00	18,25	16,49	27,00	27,00	1,00	1,66
138	154	T - 189	1,00	2,00	44,53	4,00	16,49	12,18	27,00	26,00	1,00	1,76
140	141	T - 190	0,00	1,00	44,53	4,00	18,25	18,25	27,00	27,00	1,00	1,66
143	144	T - 192	0,00	1,00	44,53	4,00	42,15	42,55	56,00	56,40	2,00	2,35
144	146	T - 193	1,00	2,00	44,53	4,00	40,15	42,15	54,00	56,00	2,00	2,44
146	155	T - 194	0,00	1,00	44,53	4,00	41,45	40,15	55,30	54,00	2,00	2,35
146	147	T - 195	2,00	2,00	44,53	4,00	37,20	40,15	51,00	54,00	2,00	2,44
147	148	T - 196	8,00	4,00	44,53	4,00	34,58	37,20	48,10	51,00	2,00	2,63
147	156	T - 197	0,00	1,00	44,53	4,00	38,20	37,20	52,00	51,00	2,00	2,35
147	129	T - 198	2,00	2,00	44,53	4,00	37,45	38,45	50,00	51,00	2,00	2,44
148	149	T - 199	0,00	1,00	44,53	4,00	34,58	34,58	48,10	48,10	1,00	1,66
148	118	T - 200	0,00	1,00	44,53	4,00	33,71	34,58	46,00	48,10	1,00	1,66
148	157	T - 201	0,00	1,00	44,53	4,00	34,58	34,21	48,10	48,00	1,00	1,66
149	150	T - 202	2,00	2,00	44,53	4,00	35,68	33,57	48,10	46,00	1,00	1,76
150	151	T - 203	1,00	2,00	44,53	4,00	24,00	28,49	41,50	46,00	1,00	1,76
150	158	T - 204	3,00	3,00	44,53	4,00	33,57	30,57	46,00	43,00	1,00	1,85
151	152	T - 205	0,00	1,00	44,53	4,00	19,02	24,00	36,50	41,50	1,00	1,66
151	160	T - 206	0,00	1,00	44,53	4,00	24,00	22,50	41,50	40,00	1,00	1,66
152	153	T - 207	0,00	1,00	44,53	4,00	13,69	19,02	31,00	36,50	1,00	1,66
152	161	T - 208	0,00	1,00	44,53	4,00	19,02	19,52	36,50	37,00	1,00	1,66
153	154	T - 209	1,00	2,00	44,53	4,00	12,18	13,69	26,00	31,00	1,00	1,76
153	162	T - 210	0,00	1,00	44,53	4,00	13,69	13,79	31,00	31,10	1,00	1,66
154	163	T - 211	2,00	2,00	44,53	4,00	12,18	10,35	26,00	27,00	1,00	1,76
156	157	T - 212	2,00	2,00	44,53	4,00	34,21	38,21	48,00	52,00	2,00	2,44
157	158	T - 213	5,00	4,00	44,53	4,00	34,21	29,18	48,00	43,00	1,00	1,94
157	165	T - 214	0,00	1,00	44,53	4,00	34,21	35,12	48,00	49,00	1,00	1,66
158	166	T - 215	1,00	2,00	44,53	4,00	29,18	32,18	43,00	46,00	1,00	1,76
159	160	T - 216	3,00	3,00	44,53	4,00	21,21	24,20	40,00	43,00	1,00	1,85
159	167	T - 217	0,00	1,00	44,53	4,00	24,20	27,19	43,00	46,00	1,00	1,66
160	161	T - 218	4,00	3,00	44,53	4,00	18,39	21,21	37,00	40,00	1,00	1,85
160	169	T - 219	0,00	1,00	44,53	4,00	21,21	20,17	40,00	39,00	1,00	1,66
161	185	T - 220	1,00	2,00	44,53	4,00	18,39	13,33	37,00	32,00	1,00	1,76
161	162	T - 221	0,00	1,00	44,53	4,00	13,33	18,39	31,10	37,00	1,00	1,66
162	163	T - 222	2,00	2,00	44,53	4,00	10,35	13,33	27,00	31,10	1,00	1,76
162	187	T - 223	0,00	1,00	44,53	4,00	10,71	10,70	32,00	32,00	1,00	1,66
163	188	T - 224	2,00	2,00	44,53	4,00	10,35	9,71	27,00	28,00	3,00	3,13
164	165	T - 225	4,00	3,00	44,53	4,00	39,12	34,43	53,00	49,00	2,00	2,54
164	171	T - 226	2,00	2,00	44,53	4,00	38,43	37,37	53,00	52,20	2,00	2,44
165	166	T - 227	1,00	2,00	44,53	4,00	35,12	32,12	49,00	46,00	1,00	1,76
167	168	T - 228	0,00	1,00	44,53	4,00	27,16	27,16	46,00	46,00	1,00	1,66
167	169	T - 229	0,00	1,00	44,53	4,00	20,17	27,16	39,00	46,00	1,00	1,66
168	170	T - 230	1,00	2,00	44,53	4,00	15,96	22,96	39,00	46,00	1,00	1,76
168	173	T - 231	0,00	1,00	44,53	4,00	23,95	22,95	47,00	46,00	1,00	1,66
169	170	T - 232	0,00	1,00	44,53	4,00	20,17	20,17	39,00	39,00	1,00	1,66
170	175	T - 233	0,00	1,00	44,53	4,00	15,58	15,96	38,60	39,00	1,00	1,66
171	172	T - 234	4,00	3,00	44,53	4,00	37,37	31,48	52,20	47,00	2,00	2,54
172	177	T - 235	0,00	1,00	44,53	4,00	31,48	33,38	47,00	49,00	1,00	1,66
173	174	T - 236	0,00	1,00	44,53	4,00	23,99	23,99	47,00	47,00	1,00	1,66
173	175	T - 237	0,00	1,00	44,53	4,00	15,58	23,95	38,60	47,00	1,00	1,66
174	176	T - 238	1,00	2,00	44,53	4,00	15,60	23,99	38,60	47,00	1,00	1,76
174	181	T - 239	0,00	1,00	44,53	4,00	26,16	24,16	49,00	47,00	1,00	1,66
175	176	T - 240	0,00	1,00	44,53	4,00	15,60	15,58	38,60	38,60	1,00	1,66

Tabela D-5– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade Hidráulica (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE HIDRÁULICA									
			Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
218	224	T - 301	1,00	2,00	44,53	4,00	23,15	32,13	38,00	47,00	1,00	1,76
219	220	T - 302	0,00	1,00	44,53	4,00	24,10	35,67	39,00	50,60	2,00	2,35
219	226	T - 303	0,00	1,00	44,53	4,00	24,10	25,16	39,00	40,20	1,00	1,66
220	221	T - 304	0,00	1,00	44,53	4,00	35,67	35,76	50,60	50,70	2,00	2,35
221	222	T - 305	0,00	1,00	44,53	4,00	35,65	36,00	50,70	51,05	2,00	2,35
221	226	T - 306	0,00	1,00	44,53	4,00	25,16	35,65	40,20	50,70	2,00	2,35
222	223	T - 307	0,00	1,00	44,53	4,00	31,91	35,95	47,00	51,05	2,00	2,35
222	225	T - 308	0,00	1,00	44,53	4,00	25,95	35,99	41,00	51,05	2,00	2,35
223	224	T - 309	0,00	1,00	44,53	4,00	32,13	32,13	47,00	47,00	1,00	1,66
223	225	T - 310	0,00	1,00	44,53	4,00	25,95	31,91	41,00	47,00	1,00	1,66
225	226	T - 311	0,00	1,00	44,53	4,00	25,16	25,95	40,20	41,00	1,00	1,66
227	229	T - 312	3,00	3,00	44,53	4,00	19,48	15,47	33,00	29,00	1,00	1,85
228	233	T - 313	4,00	3,00	44,53	4,00	14,84	12,07	29,00	29,00	1,00	1,85
228	229	T - 314	3,00	3,00	44,53	4,00	12,07	12,07	29,00	29,00	1,00	1,85
229	230	T - 315	0,00	1,00	44,53	4,00	15,37	15,47	28,90	29,00	1,00	1,66
229	234	T - 316	0,00	1,00	44,53	4,00	15,05	20,74	23,30	29,00	1,00	1,66
230	235	T - 317	1,00	2,00	44,53	4,00	18,79	20,68	27,00	28,90	1,00	1,76
231	232	T - 318	4,00	3,00	44,53	4,00	32,19	33,18	40,00	41,00	1,00	1,85
231	246	T - 319	15,00	4,00	44,53	4,00	22,20	32,19	29,00	40,00	1,00	1,94
232	247	T - 320	15,00	4,00	44,53	4,00	22,15	33,71	29,00	41,00	1,00	1,94
233	234	T - 321	2,00	2,00	44,53	4,00	14,77	20,47	23,30	29,00	1,00	1,76
233	237	T - 322	3,00	3,00	44,53	4,00	12,83	14,84	24,00	29,00	1,00	1,85
234	235	T - 323	2,00	2,00	44,53	4,00	18,79	15,05	27,00	23,30	1,00	1,76
234	238	T - 324	0,00	1,00	44,53	4,00	15,47	14,77	24,00	23,30	1,00	1,66
235	236	T - 325	1,00	2,00	44,53	4,00	19,36	18,79	27,50	27,00	1,00	1,76
236	239	T - 326	0,00	1,00	44,53	4,00	18,82	19,36	26,00	27,50	1,00	1,66
237	238	T - 327	1,00	2,00	44,53	4,00	15,47	12,83	24,00	24,00	1,00	1,76
237	240	T - 328	0,00	1,00	44,53	4,00	12,38	17,18	19,20	24,00	1,00	1,66
238	239	T - 329	0,00	1,00	44,53	4,00	18,82	15,47	26,00	24,00	1,00	1,66
239	241	T - 330	1,00	2,00	44,53	4,00	19,70	18,82	26,50	26,00	1,00	1,76
240	241	T - 331	3,00	3,00	44,53	4,00	19,70	12,38	26,50	19,20	1,00	1,85
240	242	T - 332	3,00	3,00	44,53	4,00	14,61	12,80	21,00	19,20	1,00	1,85
241	243	T - 333	0,00	1,00	44,53	4,00	17,61	19,70	24,00	26,50	1,00	1,66
242	243	T - 334	0,00	1,00	44,53	4,00	17,61	14,61	24,00	21,00	1,00	1,66
242	244	T - 335	0,00	1,00	44,53	4,00	14,37	15,36	20,00	21,00	1,00	1,66
243	244	T - 336	3,00	3,00	44,53	4,00	14,37	17,61	20,00	24,00	1,00	1,85
244	245	T - 337	0,00	1,00	44,53	4,00	14,55	14,37	20,00	20,00	1,00	1,66
245	246	T - 338	0,00	1,00	44,53	4,00	23,55	13,20	29,00	20,00	1,00	1,66
245	266	T - 339	0,00	1,00	44,53	4,00	0,50	14,55	4,70	20,00	3,00	3,03
246	247	T - 340	1,00	2,00	44,53	4,00	22,20	22,15	29,00	29,00	1,00	1,76
246	249	T - 341	0,00	1,00	44,53	4,00	22,20	27,07	29,00	34,00	1,00	1,66
246	251	T - 342	0,00	1,00	44,53	4,00	22,20	38,34	29,00	45,43	1,00	1,66
247	248	T - 343	2,00	2,00	44,53	4,00	22,15	19,13	29,00	26,00	1,00	1,76
249	250	T - 344	19,00	4,00	44,53	4,00	27,07	17,02	34,00	24,00	1,00	1,94
249	263	T - 345	23,00	4,00	44,53	4,00	27,07	34,62	34,00	42,00	1,00	1,94
251	252	T - 346	1,00	2,00	44,53	4,00	38,34	37,91	45,43	45,00	1,00	1,76
251	264	T - 347	3,00	3,00	44,53	4,00	38,34	37,86	45,43	45,00	1,00	1,85
251	257	T - 348	0,00	1,00	44,53	4,00	38,34	34,08	45,43	42,00	1,00	1,66
253	264	T - 349	2,00	2,00	44,53	4,00	37,12	40,40	44,26	47,93	1,00	1,76
253	254	T - 350	0,00	1,00	44,53	4,00	40,40	36,68	47,93	44,26	1,00	1,66
253	258	T - 351	0,00	1,00	44,53	4,00	32,61	36,23	40,64	44,26	1,00	1,66
254	255	T - 352	0,00	1,00	44,53	4,00	40,35	37,76	47,93	45,37	1,00	1,66
256	257	T - 353	3,00	3,00	44,53	4,00	34,08	33,22	42,00	41,15	1,00	1,85
257	260	T - 354	0,00	1,00	44,53	4,00	34,08	27,57	42,00	35,52	1,00	1,66
257	265	T - 355	3,00	3,00	44,53	4,00	34,08	33,06	42,00	41,00	1,00	1,85
258	265	T - 356	3,00	3,00	44,53	4,00	33,06	32,61	41,00	40,64	1,00	1,85
258	259	T - 357	0,00	1,00	44,53	4,00	29,22	32,47	37,39	40,64	1,00	1,66
259	260	T - 358	8,00	4,00	44,53	4,00	27,57	29,22	35,52	37,39	1,00	1,94
260	261	T - 359	0,00	1,00	44,53	4,00	27,57	30,04	35,52	38,00	1,00	1,66
266	67-RA	T - 360	0,00	1,00	44,53	4,00	23,00	0,50	27,00	4,70	3,00	3,03

Tabela D-6– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade Hidráulica.

Nó i	Nó j	Trecho k	Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão estática	Perigo Pressão dinâmica	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
1	3	T - 1	1,00	2,00	44,53	4,00	37,18	35,67	50,50	49,00	2,00	1,00	2,00	2,44
2	3	T - 2	0,00	1,00	44,53	4,00	34,68	35,68	48,00	49,00	1,00	1,00	1,00	1,66
3	6	T - 3	0,00	1,00	44,53	4,00	35,77	33,18	49,00	46,50	1,00	1,00	1,00	1,66
4	6	T - 4	4,00	3,00	44,53	4,00	37,27	33,26	50,50	46,50	2,00	1,00	2,00	2,54
5	6	T - 5	0,00	1,00	44,53	4,00	30,87	33,27	44,10	46,50	1,00	1,00	1,00	1,66
6	8	T - 6	2,00	2,00	44,53	4,00	33,76	31,97	46,50	45,20	1,00	1,00	1,00	1,76
7	8	T - 7	1,00	2,00	44,53	4,00	37,26	32,45	50,00	45,20	2,00	1,00	2,00	2,44
8	9	T - 8	2,00	2,00	44,53	4,00	32,46	29,50	45,20	42,30	1,00	1,00	1,00	1,76
10	9	T - 9	1,00	2,00	44,53	4,00	30,30	29,49	43,10	42,30	1,00	1,00	1,00	1,76
9	11	T - 10	0,00	1,00	44,53	4,00	31,86	32,55	42,30	43,00	1,00	1,00	1,00	1,66
12	13	T - 11	0,00	1,00	44,53	4,00	40,70	35,60	51,10	46,00	2,00	1,00	2,00	2,35
13	8	T - 12	1,00	2,00	44,53	4,00	35,60	32,46	46,00	45,20	1,00	1,00	1,00	1,76
13	14	T - 13	1,00	2,00	44,53	4,00	35,64	39,60	46,00	50,00	2,00	1,00	2,00	2,44
14	9	T - 14	2,00	2,00	44,53	4,00	39,64	31,89	50,00	42,30	2,00	1,00	2,00	2,44
14	15	T - 15	3,00	3,00	44,53	4,00	39,70	26,64	50,00	37,00	2,00	1,00	2,00	2,54
15	100	T - 16	2,00	2,00	44,53	4,00	26,70	32,56	37,00	43,00	1,00	1,00	1,00	1,76
16	17	T - 17	3,00	3,00	44,53	4,00	38,66	33,68	52,00	47,02	2,00	1,00	2,00	2,54
17	13	T - 18	0,00	1,00	44,53	4,00	36,62	35,59	47,02	46,00	1,00	1,00	1,00	1,66
17	18	T - 19	1,00	2,00	44,53	4,00	33,77	27,75	47,02	41,00	1,00	1,00	1,00	1,76
18	19	T - 20	0,00	1,00	44,53	4,00	29,69	24,69	41,00	36,00	1,00	1,00	1,00	1,66
18	14	T - 21	2,00	2,00	44,53	4,00	30,64	39,57	41,00	50,00	2,00	1,00	2,00	2,44
19	15	T - 22	0,00	1,00	44,53	4,00	25,70	26,70	36,00	37,00	1,00	1,00	1,00	1,66
20	21	T - 23	3,00	3,00	44,53	4,00	37,67	31,67	51,00	45,00	2,00	1,00	2,00	2,54
21	17	T - 24	0,00	1,00	44,53	4,00	31,67	33,68	45,00	47,02	1,00	1,00	1,00	1,66
22	21	T - 25	2,00	2,00	44,53	4,00	28,76	31,67	42,00	45,00	1,00	1,00	1,00	1,76
22	18	T - 26	5,00	4,00	44,53	4,00	28,76	27,75	42,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,94
23	19	T - 27	6,00	4,00	44,53	4,00	38,47	24,69	49,77	36,00	1,00	1,00	1,00	1,94
23	22	T - 28	4,00	3,00	44,53	4,00	38,47	28,76	49,77	42,00	1,00	1,00	1,00	1,85
24	25	T - 29	1,00	2,00	44,53	4,00	34,48	28,68	49,30	43,50	1,00	1,00	1,00	1,76
25	21	T - 30	0,00	1,00	44,53	4,00	30,17	31,67	43,50	45,00	1,00	1,00	1,00	1,66
26	22	T - 31	0,00	1,00	44,53	4,00	16,76	27,95	30,00	42,00	1,00	1,00	1,00	1,66
26	25	T - 32	4,00	3,00	44,53	4,00	15,95	28,68	30,00	43,50	1,00	1,00	1,00	1,85
26	27	T - 33	2,00	2,00	44,53	4,00	18,69	25,69	30,00	37,00	1,00	1,00	1,00	1,76
27	23	T - 34	3,00	3,00	44,53	4,00	25,70	38,46	37,00	49,77	1,00	1,00	1,00	1,85
28	29	T - 35	1,00	2,00	44,53	4,00	33,90	28,33	49,22	43,65	1,00	1,00	1,00	1,76
29	30	T - 36	0,00	1,00	44,53	4,00	28,33	14,19	43,65	30,00	1,00	1,00	1,00	1,66
29	25	T - 37	0,00	1,00	44,53	4,00	28,83	28,18	43,65	43,50	1,00	1,00	1,00	1,66
30	31	T - 38	1,00	2,00	44,53	4,00	14,19	21,06	30,00	37,00	1,00	1,00	1,00	1,76
31	32	T - 39	3,00	3,00	44,53	4,00	21,06	20,96	37,00	36,90	1,00	1,00	1,00	1,85
33	34	T - 40	3,00	3,00	44,53	4,00	34,06	29,05	50,00	45,00	2,00	1,00	2,00	2,54
34	29	T - 41	0,00	1,00	44,53	4,00	29,68	27,71	45,00	43,65	1,00	1,00	1,00	1,66
35	34	T - 42	3,00	3,00	44,53	4,00	33,06	29,06	49,00	45,00	1,00	1,00	1,00	1,85
36	34	T - 43	2,00	2,00	44,53	4,00	24,06	28,91	40,00	45,00	1,00	1,00	1,00	1,76
36	30	T - 44	3,00	3,00	44,53	4,00	24,19	14,17	40,00	30,00	1,00	1,00	1,00	1,85
37	36	T - 45	1,00	2,00	44,53	4,00	28,01	23,91	44,10	40,00	1,00	1,00	1,00	1,76
38	31	T - 46	0,00	1,00	44,53	4,00	25,06	21,04	41,00	37,00	1,00	1,00	1,00	1,66
38	36	T - 47	2,00	2,00	44,53	4,00	24,91	23,90	41,00	40,00	1,00	1,00	1,00	1,76
38	40	T - 48	2,00	2,00	44,53	4,00	27,71	27,71	41,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,76
39	40	T - 49	4,00	3,00	44,53	4,00	23,71	27,70	37,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,85
41	40	T - 50	0,00	1,00	44,53	4,00	27,76	27,71	41,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,66
41	42	T - 51	3,00	3,00	44,53	4,00	27,76	23,76	41,00	37,00	1,00	1,00	1,00	1,85
43	42	T - 52	2,00	2,00	44,53	4,00	23,84	23,98	36,85	37,00	1,00	1,00	1,00	1,76
44	41	T - 53	1,00	2,00	44,53	4,00	28,11	27,76	41,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,76
44	45	T - 54	0,00	1,00	44,53	4,00	29,02	33,02	41,00	45,00	1,00	1,00	1,00	1,66

Tabela D-6– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade Hidráulica (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão estática	Perigo Pressão dinâmica	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
44	47	T - 55	2,00	2,00	44,53	4,00	28,72	27,11	41,00	40,00	1,00	1,00	1,00	1,76
45	46	T - 56	0,00	1,00	44,53	4,00	33,02	35,02	45,00	47,00	1,00	1,00	1,00	1,66
45	48	T - 57	4,00	3,00	44,53	4,00	33,06	37,22	45,00	49,20	1,00	1,00	1,00	1,85
46	49	T - 58	7,00	4,00	44,53	4,00	33,64	30,76	47,00	44,15	1,00	1,00	1,00	1,94
47	48	T - 59	1,00	2,00	44,53	4,00	28,06	37,26	40,00	49,20	1,00	1,00	1,00	1,76
47	80	T - 60	1,00	2,00	44,53	4,00	28,30	25,72	40,00	38,00	1,00	1,00	1,00	1,76
48	64	T - 61	1,00	2,00	44,53	4,00	37,34	30,06	49,20	42,00	1,00	1,00	1,00	1,76
49	50	T - 62	3,00	3,00	44,53	4,00	31,58	25,30	44,15	38,66	1,00	1,00	1,00	1,85
49	52	T - 63	0,00	1,00	44,53	4,00	30,79	35,57	44,15	49,00	1,00	1,00	1,00	1,66
50	51	T - 64	0,00	1,00	44,53	4,00	26,09	28,43	38,66	41,00	1,00	1,00	1,00	1,66
51	52	T - 65	3,00	3,00	44,53	4,00	27,57	35,51	41,00	49,00	1,00	1,00	1,00	1,85
50	53	T - 66	0,00	1,00	44,53	4,00	26,63	24,93	38,66	37,50	1,00	1,00	1,00	1,66
53	54	T - 67	0,00	1,00	44,53	4,00	25,47	26,96	37,50	39,10	1,00	1,00	1,00	1,66
53	64	T - 68	2,00	2,00	44,53	4,00	25,64	29,97	37,50	42,00	1,00	1,00	1,00	1,76
53	63	T - 69	1,00	2,00	44,53	4,00	25,47	21,96	37,50	34,00	1,00	1,00	1,00	1,76
54	55	T - 70	0,00	1,00	44,53	4,00	26,96	26,81	39,10	39,00	1,00	1,00	1,00	1,66
55	56	T - 71	0,00	1,00	44,53	4,00	26,81	26,77	39,00	39,00	1,00	1,00	1,00	1,66
56	57	T - 72	4,00	3,00	44,53	4,00	26,77	34,63	39,00	47,00	1,00	1,00	1,00	1,85
56	60	T - 73	0,00	1,00	44,53	4,00	26,77	27,69	39,00	40,00	1,00	1,00	1,00	1,66
57	58	T - 74	3,00	3,00	44,53	4,00	34,63	38,63	47,00	51,00	2,00	1,00	2,00	2,54
57	59	T - 75	2,00	2,00	44,53	4,00	34,63	33,62	47,00	46,00	1,00	1,00	1,00	1,76
59	60	T - 76	2,00	2,00	44,53	4,00	33,69	27,68	46,00	40,00	1,00	1,00	1,00	1,76
59	61	T - 77	1,00	2,00	44,53	4,00	33,62	28,62	46,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,76
60	61	T - 78	1,00	2,00	44,53	4,00	27,69	28,66	40,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,76
61	62	T - 79	0,00	1,00	44,53	4,00	28,66	28,66	41,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,66
63	65	T - 80	2,00	2,00	44,53	4,00	23,24	27,22	35,00	39,00	1,00	1,00	1,00	1,76
64	65	T - 81	0,00	1,00	44,53	4,00	30,24	27,14	42,00	39,00	1,00	1,00	1,00	1,66
66	67	T - 82	3,00	3,00	44,53	4,00	13,93	20,93	29,00	36,00	1,00	1,00	1,00	1,85
67	69	T - 83	0,00	1,00	44,53	4,00	20,96	19,93	36,00	35,00	1,00	1,00	1,00	1,66
68	69	T - 84	2,00	2,00	44,53	4,00	13,96	19,95	29,00	35,00	1,00	1,00	1,00	1,76
69	71	T - 85	0,00	1,00	44,53	4,00	20,04	19,81	35,00	34,85	1,00	1,00	1,00	1,66
70	71	T - 86	0,00	1,00	44,53	4,00	14,04	19,87	29,00	34,85	1,00	1,00	1,00	1,66
71	75	T - 87	0,00	1,00	44,53	4,00	20,12	18,48	34,85	33,44	1,00	1,00	1,00	1,66
72	73	T - 88	4,00	3,00	44,53	4,00	23,20	14,11	38,07	29,00	1,00	1,00	1,00	1,85
73	74	T - 89	0,00	1,00	44,53	4,00	14,16	14,13	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
74	75	T - 90	3,00	3,00	44,53	4,00	14,27	18,16	29,00	33,00	1,00	1,00	1,00	1,85
75	77	T - 91	0,00	1,00	44,53	4,00	19,11	17,27	33,00	32,00	1,00	1,00	1,00	1,66
76	77	T - 92	3,00	3,00	44,53	4,00	15,11	18,10	29,00	32,00	1,00	1,00	1,00	1,85
77	78	T - 93	0,00	1,00	44,53	4,00	19,50	17,11	32,00	31,00	1,00	1,00	1,00	1,66
78	79	T - 94	0,00	1,00	44,53	4,00	18,50	21,29	31,00	34,00	1,00	1,00	1,00	1,66
78	86	T - 95	2,00	2,00	44,53	4,00	19,26	16,50	31,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,76
79	80	T - 96	0,00	1,00	44,53	4,00	21,29	25,29	34,00	38,00	1,00	1,00	1,00	1,66
80	65	T - 97	1,00	2,00	44,53	4,00	26,30	27,24	38,00	39,00	1,00	1,00	1,00	1,76
81	80	T - 98	0,00	1,00	44,53	4,00	22,53	26,30	34,00	38,00	1,00	1,00	1,00	1,66
81	87	T - 99	0,00	1,00	44,53	4,00	23,23	17,53	34,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
82	83	T - 100	0,00	1,00	44,53	4,00	25,20	21,20	38,00	34,00	1,00	1,00	1,00	1,66
83	84	T - 101	4,00	3,00	44,53	4,00	21,20	23,57	34,00	36,50	1,00	1,00	1,00	1,85
83	79	T - 102	2,00	2,00	44,53	4,00	21,29	21,20	34,00	34,00	1,00	1,00	1,00	1,76
83	91	T - 103	3,00	3,00	44,53	4,00	22,76	17,72	34,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,85
84	85	T - 104	0,00	1,00	44,53	4,00	23,57	25,07	36,50	38,00	1,00	1,00	1,00	1,66
84	32	T - 105	4,00	3,00	44,53	4,00	23,57	23,92	36,50	36,90	1,00	1,00	1,00	1,85
84	90	T - 106	4,00	3,00	44,53	4,00	26,00	20,45	36,50	31,00	1,00	1,00	1,00	1,85
85	42	T - 107	1,00	2,00	44,53	4,00	25,01	23,99	38,00	37,00	1,00	1,00	1,00	1,76

Tabela D-6– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade Hidráulica (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão estática	Perigo Pressão dinâmica	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
85	44	T - 108	0,00	1,00	44,53	4,00	25,11	28,01	38,00	41,00	1,00	1,00	1,00	1,66
86	91	T - 109	2,00	2,00	44,53	4,00	17,76	17,26	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,76
87	90	T - 110	0,00	1,00	44,53	4,00	18,50	20,23	29,00	31,00	1,00	1,00	1,00	1,66
88	89	T - 111	0,00	1,00	44,53	4,00	19,47	21,47	30,00	32,00	1,00	1,00	1,00	1,66
89	90	T - 112	0,00	1,00	44,53	4,00	21,50	20,47	32,00	31,00	1,00	1,00	1,00	1,66
90	94	T - 113	0,00	1,00	44,53	4,00	21,08	18,50	31,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
91	92	T - 114	0,00	1,00	44,53	4,00	18,25	17,76	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
92	98	T - 115	2,00	2,00	44,53	4,00	18,25	22,66	29,00	33,77	1,00	1,00	1,00	1,76
92	93	T - 116	0,00	1,00	44,53	4,00	18,94	18,25	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
93	114	T - 117	0,00	1,00	44,53	4,00	19,31	18,94	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
94	115	T - 118	0,00	1,00	44,53	4,00	19,41	19,08	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
95	97	T - 119	1,00	2,00	44,53	4,00	21,72	21,72	33,00	33,00	1,00	1,00	1,00	1,76
96	97	T - 120	0,00	1,00	44,53	4,00	19,72	21,72	31,00	33,00	1,00	1,00	1,00	1,66
97	19	T - 121	0,00	1,00	44,53	4,00	21,72	24,72	33,00	36,00	1,00	1,00	1,00	1,66
98	97	T - 122	1,00	2,00	44,53	4,00	21,89	21,72	33,00	33,00	1,00	1,00	1,00	1,76
98	23	T - 123	0,00	1,00	44,53	4,00	21,89	38,47	33,00	49,77	1,00	1,00	1,00	1,66
99	11	T - 124	2,00	2,00	44,53	4,00	33,56	32,55	44,00	43,00	1,00	1,00	1,00	1,76
100	11	T - 125	0,00	1,00	44,53	4,00	32,56	32,56	43,00	43,00	1,00	1,00	1,00	1,66
100	104	T - 126	0,00	1,00	44,53	4,00	32,36	35,35	43,00	46,00	1,00	1,00	1,00	1,66
101	102	T - 127	2,00	2,00	44,53	4,00	33,18	31,18	44,00	42,00	1,00	1,00	1,00	1,76
102	11	T - 128	0,00	1,00	44,53	4,00	31,18	32,18	42,00	43,00	1,00	1,00	1,00	1,66
102	103	T - 129	0,00	1,00	44,53	4,00	31,22	37,18	42,00	48,00	1,00	1,00	1,00	1,66
103	104	T - 130	0,00	1,00	44,53	4,00	37,22	35,22	48,00	46,00	1,00	1,00	1,00	1,66
103	108	T - 131	0,00	1,00	44,53	4,00	37,76	38,75	48,00	49,00	1,00	1,00	1,00	1,66
104	106	T - 132	2,00	2,00	44,53	4,00	35,36	23,22	46,00	34,00	1,00	1,00	1,00	1,76
105	106	T - 133	0,00	1,00	44,53	4,00	27,36	23,35	38,00	34,00	1,00	1,00	1,00	1,66
107	106	T - 134	2,00	2,00	44,53	4,00	24,79	23,36	35,00	34,00	1,00	1,00	1,00	1,76
107	15	T - 135	4,00	3,00	44,53	4,00	24,79	26,70	35,00	37,00	1,00	1,00	1,00	1,85
108	109	T - 136	7,00	4,00	44,53	4,00	38,88	22,76	49,00	33,00	1,00	1,00	1,00	1,94
108	110	T - 137	0,00	1,00	44,53	4,00	38,81	39,00	49,00	49,20	1,00	1,00	1,00	1,66
109	107	T - 138	1,00	2,00	44,53	4,00	22,88	24,79	33,00	35,00	1,00	1,00	1,00	1,76
109	111	T - 139	0,00	1,00	44,53	4,00	23,00	20,88	33,00	31,00	1,00	1,00	1,00	1,66
110	111	T - 140	11,00	4,00	44,53	4,00	39,00	20,81	49,00	31,00	1,00	1,00	1,00	1,94
111	113	T - 141	0,00	1,00	44,53	4,00	21,14	20,00	31,00	30,00	1,00	1,00	1,00	1,66
112	113	T - 142	2,00	2,00	44,53	4,00	27,14	20,14	37,00	30,00	1,00	1,00	1,00	1,76
113	114	T - 143	0,00	1,00	44,53	4,00	20,31	19,14	30,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
114	115	T - 144	0,00	1,00	44,53	4,00	19,41	19,31	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
115	131	T - 145	0,00	1,00	44,53	4,00	19,58	19,41	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66
116	118	T - 146	5,00	4,00	44,53	4,00	19,69	29,97	33,11	43,56	1,00	1,00	1,00	1,94
117	118	T - 147	6,00	4,00	44,53	4,00	31,06	30,14	44,48	43,56	1,00	1,00	1,00	1,94
118	120	T - 148	0,00	1,00	44,53	4,00	30,35	31,46	43,56	44,88	1,00	1,00	1,00	1,66
119	120	T - 149	3,00	3,00	44,53	4,00	31,79	31,67	45,00	44,88	1,00	1,00	1,00	1,85
120	122	T - 150	0,00	1,00	44,53	4,00	32,02	25,79	44,88	39,00	1,00	1,00	1,00	1,66
121	122	T - 151	4,00	3,00	44,53	4,00	29,14	26,13	42,00	39,00	1,00	1,00	1,00	1,85
122	123	T - 152	2,00	2,00	44,53	4,00	26,67	23,14	39,00	36,00	1,00	1,00	1,00	1,76
123	124	T - 153	1,00	2,00	44,53	4,00	23,67	17,66	36,00	30,00	1,00	1,00	1,00	1,76
125	126	T - 154	3,00	3,00	44,53	4,00	17,27	22,27	29,00	34,00	1,00	1,00	1,00	1,85
126	123	T - 155	2,00	2,00	44,53	4,00	22,27	23,67	34,00	36,00	1,00	1,00	1,00	1,76
127	126	T - 156	0,00	1,00	44,53	4,00	22,12	22,27	33,00	34,00	1,00	1,00	1,00	1,66
128	127	T - 157	3,00	3,00	44,53	4,00	19,64	22,12	29,40	33,00	1,00	1,00	1,00	1,85
129	130	T - 158	7,00	4,00	44,53	4,00	25,40	19,59	35,00	29,20	1,00	1,00	1,00	1,94
130	128	T - 159	0,00	1,00	44,53	4,00	19,60	19,64	29,20	29,40	1,00	1,00	1,00	1,66
131	130	T - 160	0,00	1,00	44,53	4,00	19,58	19,60	29,00	29,20	1,00	1,00	1,00	1,66
132	131	T - 161	0,00	1,00	44,53	4,00	20,00	19,58	29,00	29,00	1,00	1,00	1,00	1,66

Tabela D-7– Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-2 – Vulnerabilidade Hidráulica.

Nó i	Nó j	Trecho k	Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas (%)	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo da Pressão estática	Perigo da Pressão dinâmica	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
17	16	T - 1	20,00	4	44,53	4	51,99	17,34	60,14	26,00	2	2	2	2,63
19	17	T - 2	0,00	1	44,53	4	52,34	51,99	60,19	60,14	2	2	2	2,35
19	18	T - 3	16,00	4	44,53	4	52,34	17,66	60,19	26,40	2	2	2	2,63
21	19	T - 4	0,00	1	44,53	4	51,67	52,34	59,33	60,19	2	2	2	2,35
21	20	T - 5	15,00	4	44,53	4	51,67	17,50	59,33	26,11	2	2	2	2,63
23	21	T - 6	0,00	1	44,53	4	51,30	51,67	58,51	59,33	2	2	2	2,35
23	22	T - 7	16,00	4	44,53	4	51,30	17,92	58,51	26,14	2	2	2	2,63
25	23	T - 8	1,00	2	44,53	4	52,10	51,30	59,11	58,51	2	2	2	2,44
25	24	T - 9	10,00	4	44,53	4	52,10	17,93	59,11	26,00	2	2	2	2,63
27	25	T - 10	0,00	1	44,53	4	54,27	52,10	61,00	59,11	2	2	2	2,35
27	26	T - 11	13,00	4	44,53	4	54,27	19,15	61,00	26,20	2	2	2	2,63
28	27	T - 12	0,00	1	44,53	4	55,08	54,27	61,65	61,00	2	2	2	2,35
28	15	T - 13	0,00	1	44,53	4	55,08	32,08	61,65	39,57	2	2	2	2,35
29	28	T - 14	0,00	1	44,53	4	55,44	55,13	61,86	61,65	2	2	2	2,35
30	29	T - 15	0,00	1	44,53	4	45,77	55,51	52,00	61,86	2	2	2	2,35
31	30	T - 16	0,00	1	44,53	4	44,93	45,83	51,00	52,00	2	1	2	2,35
32	31	T - 17	0,00	1	44,53	4	41,00	45,00	46,90	51,00	2	1	2	2,35
33	32	T - 18	0,00	1	44,53	4	39,80	41,06	45,55	46,90	1	1	1	1,66
34	33	T - 19	0,00	1	44,53	4	35,91	39,86	41,50	45,55	1	1	1	1,66
35	34	T - 20	0,00	1	44,53	4	31,12	35,97	36,55	41,50	1	1	1	1,66
36	35	T - 21	0,00	1	44,53	4	24,72	31,17	30,00	36,55	1	1	1	1,66
37	36	T - 22	0,00	1	44,53	4	20,53	24,78	25,65	30,00	1	1	1	1,66
38	37	T - 23	0,00	1	44,53	4	15,03	20,59	20,00	25,65	1	1	1	1,66
39	38	T - 24	0,00	1	44,53	4	10,52	15,10	15,32	20,00	1	1	1	1,66
40	39	T - 25	0,00	1	44,53	4	9,49	10,58	14,13	15,32	1	3	3	3,03
41	40	T - 26	0,00	1	44,53	4	4,37	9,55	8,85	14,13	3	3	3	3,03
42	41	T - 27	0,00	1	44,53	4	1,68	4,43	6,00	8,85	3	3	3	3,03
43	42	T - 28	0,00	1	44,53	4	0,62	1,70	4,89	6,00	3	3	3	3,03
44	43	T - 29	0,00	1	44,53	4	0,62	0,69	4,71	4,89	3	3	3	3,03
45	44	T - 30	0,00	1	44,53	4	0,28	0,64	4,31	4,71	3	3	3	3,03
46	45 - RAP	T - 31	0,00	1	44,53	4	0,31	0,29	4,31	4,31	3	3	3	3,03

Tabela D-8 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-2 – Vulnerabilidade Hidráulica.

Nó i	Nó j	Trecho k	Vazamentos	Perigo Vazamentos	Perdas (%)	Perigo Perdas	Pressão Dinâmica de Montante (mca)	Pressão Dinâmica de Jusante (mca)	Pressão Estática de Montante (mca)	Pressão Estática de Jusante (mca)	Perigo Pressão estática	Perigo Pressão dinâmica	Perigo Pressão	PERIGO VULNERABILIDADE HIDRÁULICA
2	1	T - 1	1,00	2	44,53	4	25,46	26,73	36,82	38,10	1,00	1,00	1,00	1,76
4	2	T - 2	0,00	1	44,53	4	23,22	25,46	34,56	36,82	1,00	1,00	1,00	1,66
4	3	T - 3	1,00	2	44,53	4	23,22	26,58	34,56	37,94	1,00	1,00	1,00	1,76
6	4	T - 4	2,00	2	44,53	4	20,83	23,22	32,03	34,56	1,00	1,00	1,00	1,76
6	5	T - 5	3,00	3	44,53	4	20,83	26,78	32,03	38,00	1,00	1,00	1,00	1,85
8	6	T - 6	1,00	2	44,53	4	19,62	20,83	30,51	32,03	1,00	1,00	1,00	1,76
8	7	T - 7	3,00	3	44,53	4	19,62	27,13	30,51	38,03	1,00	1,00	1,00	1,85
10	8	T - 8	2,00	2	44,53	4	18,48	19,62	29,29	30,51	1,00	1,00	1,00	1,76
10	9	T - 9	0,00	1	44,53	4	18,48	27,30	29,29	38,13	1,00	1,00	1,00	1,66
12	10	T - 10	1,00	2	44,53	4	18,54	18,48	29,25	29,29	1,00	1,00	1,00	1,76
12	11	T - 11	3,00	3	44,53	4	18,54	27,39	29,25	38,10	1,00	1,00	1,00	1,85
14	12	T - 12	0,00	1	44,53	4	18,57	18,54	29,22	29,25	1,00	1,00	1,00	1,66
14	13	T - 13	0,00	1	44,53	4	18,57	27,35	29,22	38,00	1,00	1,00	1,00	1,66
15	14	T - 14	0,00	1	44,53	4	42,08	18,57	51,57	29,22	2,00	1,00	2,00	2,35

Tabela D-9 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água.

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA												
			Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	PERIGO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
2	1	T - 1	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
4	2	T - 2	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
4	3	T - 3	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
6	4	T - 4	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
6	5	T - 5	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
8	6	T - 6	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
8	7	T - 7	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
10	8	T - 8	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
10	9	T - 9	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
12	10	T - 10	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
12	11	T - 11	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
14	12	T - 12	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
14	13	T - 13	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
16	14	T - 14	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
16	15	T - 15	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
18	16	T - 16	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
18	17	T - 17	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
20	18	T - 18	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
20	19	T - 19	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
21	20	T - 20	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
22	21	T - 21	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
23	22	T - 22	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
24	23	T - 23	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
24	78	T - 24	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
24	94	T - 25	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
27	25	T - 26	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
27	26	T - 27	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
27	28	T - 28	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
27	30	T - 29	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
28	29	T - 30	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
29	30	T - 31	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
29	31	T - 32	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
30	32	T - 33	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
31	32	T - 34	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
31	34	T - 35	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
32	40	T - 36	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
33	36	T - 37	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
33	34	T - 38	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
34	39	T - 39	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
34	35	T - 40	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
36	38	T - 41	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
37	38	T - 42	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
38	39	T - 43	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
39	40	T - 44	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
39	44	T - 45	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
40	41	T - 46	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
40	45	T - 47	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
41	42	T - 48	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
41	46	T - 49	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
42	51	T - 50	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
43	44	T - 51	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
44	45	T - 52	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
44	48	T - 53	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
45	46	T - 54	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
45	49	T - 55	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
46	50	T - 56	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
47	48	T - 57	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
48	49	T - 58	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
48	54	T - 59	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
49	50	T - 60	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37

Tabela D-9 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA												
			Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras <i>E. coli</i>	Número de amostras Presença <i>E. coli</i>	Percentual de amostras com presença de <i>E. coli</i>	Perigo coliformes e <i>E. coli</i>	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	PERIGO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
49	55	T - 61	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
50	51	T - 62	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
51	57	T - 63	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
52	53	T - 64	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
53	54	T - 65	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
53	84	T - 66	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
54	55	T - 67	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
54	61	T - 68	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
55	56	T - 69	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
55	63	T - 70	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
56	50	T - 71	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
56	57	T - 72	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
56	64	T - 73	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
57	58	T - 74	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
57	65	T - 75	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
58	59	T - 76	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
58	66	T - 77	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
60	61	T - 78	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
61	62	T - 79	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
62	63	T - 80	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
62	75	T - 81	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
63	64	T - 82	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
63	76	T - 83	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
64	65	T - 84	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
64	77	T - 85	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
65	66	T - 86	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
65	78	T - 87	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
66	67	T - 88	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
67	82	T - 89	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
68	67	T - 90	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
69	80	T - 91	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
69	70	T - 92	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
70	72	T - 93	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
71	70	T - 94	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
73	74	T - 95	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
74	75	T - 96	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
75	76	T - 97	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
76	77	T - 98	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
76	88	T - 99	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
77	78	T - 100	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
77	89	T - 101	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
78	79	T - 102	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
79	80	T - 103	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
79	83	T - 104	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
80	81	T - 105	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
80	91	T - 106	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
81	92	T - 107	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
81	82	T - 108	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
82	93	T - 109	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
84	107	T - 110	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
84	86	T - 111	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
85	86	T - 112	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
86	88	T - 113	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
87	86	T - 114	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
88	89	T - 115	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
88	101	T - 116	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
89	90	T - 117	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
89	100	T - 118	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
90	99	T - 119	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
90	91	T - 120	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37

Tabela D-9 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA												
			Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	PERIGO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
91	92	T - 121	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
91	98	T - 122	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
92	93	T - 123	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
92	97	T - 124	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
93	96	T - 125	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
94	95	T - 126	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
95	139	T - 127	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
96	106	T - 128	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
96	97	T - 129	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
97	98	T - 130	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
97	123	T - 131	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
98	99	T - 132	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
98	121	T - 133	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
99	100	T - 134	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
99	120	T - 135	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
100	101	T - 136	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
100	119	T - 137	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
101	102	T - 138	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
101	118	T - 139	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
102	103	T - 140	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
102	104	T - 141	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
104	105	T - 143	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
106	266	T - 144	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
106	123	T - 145	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
106	140	T - 146	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
106	139	T - 147	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
107	108	T - 148	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
107	112	T - 149	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
108	109	T - 150	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
109	110	T - 151	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
110	111	T - 152	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
111	112	T - 153	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
113	112	T - 154	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
113	115	T - 155	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
114	115	T - 156	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
115	116	T - 157	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
116	117	T - 158	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
117	118	T - 159	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
118	124	T - 160	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
118	119	T - 161	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
118	131	T - 162	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
119	120	T - 163	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
119	132	T - 164	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
120	121	T - 165	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
121	123	T - 166	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
121	135	T - 167	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
122	123	T - 168	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
124	129	T - 169	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
125	126	T - 170	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
126	128	T - 171	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
126	144	T - 172	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
127	128	T - 173	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
128	129	T - 174	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
128	145	T - 175	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
129	130	T - 176	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
131	149	T - 177	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
131	132	T - 178	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
132	134	T - 179	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
132	150	T - 180	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37

Tabela D-9 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA												
			Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	PERIGO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
133	134	T - 181	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
134	135	T - 182	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
134	151	T - 183	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
135	152	T - 184	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
136	137	T - 185	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
137	138	T - 186	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
137	153	T - 187	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
138	140	T - 188	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
138	154	T - 189	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
140	141	T - 190	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
143	144	T - 192	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
144	146	T - 193	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
146	155	T - 194	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
146	147	T - 195	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
147	148	T - 196	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
147	156	T - 197	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
147	129	T - 198	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
148	149	T - 199	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
148	118	T - 200	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
148	157	T - 201	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
149	150	T - 202	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
150	151	T - 203	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
150	158	T - 204	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
151	152	T - 205	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
151	160	T - 206	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
152	153	T - 207	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
152	161	T - 208	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
153	154	T - 209	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
153	162	T - 210	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
154	163	T - 211	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
156	157	T - 212	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
157	158	T - 213	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
157	165	T - 214	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
158	166	T - 215	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
159	160	T - 216	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
159	167	T - 217	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
160	161	T - 218	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
160	169	T - 219	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
161	185	T - 220	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
161	162	T - 221	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
162	163	T - 222	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
162	187	T - 223	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
163	188	T - 224	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
164	165	T - 225	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
164	171	T - 226	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
165	166	T - 227	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
167	168	T - 228	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
167	169	T - 229	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
168	170	T - 230	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
168	173	T - 231	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
169	170	T - 232	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
170	175	T - 233	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
171	172	T - 234	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
172	177	T - 235	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
173	174	T - 236	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
173	175	T - 237	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
174	176	T - 238	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
174	181	T - 239	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
175	176	T - 240	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37

Tabela D-9 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA												
			Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	PERIGO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
176	183	T - 241	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
177	178	T - 242	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
177	180	T - 243	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
177	182	T - 244	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
178	179	T - 245	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
179	180	T - 246	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
181	182	T - 247	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
181	183	T - 248	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
182	184	T - 249	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
183	184	T - 250	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
184	186	T - 251	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
185	186	T - 252	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
185	187	T - 253	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
186	187	T - 254	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
187	188	T - 255	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
188	190	T - 256	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
189	186	T - 257	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
189	190	T - 258	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
189	191	T - 259	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
189	192	T - 260	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
190	210	T - 261	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
192	199	T - 262	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
192	193	T - 263	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
193	194	T - 264	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
194	195	T - 265	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
194	197	T - 266	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
195	196	T - 267	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
196	197	T - 268	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
197	198	T - 269	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
198	199	T - 270	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
198	202	T - 271	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
199	200	T - 272	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
200	202	T - 273	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
201	209	T - 274	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
201	216	T - 275	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
201	227	T - 276	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
202	203	T - 277	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
203	204	T - 278	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
203	206	T - 279	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
204	205	T - 280	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
205	206	T - 281	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
205	208	T - 282	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
206	207	T - 283	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
207	208	T - 284	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
207	212	T - 285	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
208	211	T - 286	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
208	209	T - 287	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
209	210	T - 288	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
210	228	T - 289	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
211	212	T - 290	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
213	214	T - 291	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
213	215	T - 292	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
214	216	T - 293	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
215	216	T - 294	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
216	218	T - 295	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
217	227	T - 296	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
217	231	T - 297	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
217	236	T - 298	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
217	230	T - 299	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
218	219	T - 300	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37

Tabela D-9 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA												
			Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	PERIGO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
218	224	T - 301	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
219	220	T - 302	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
219	226	T - 303	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
220	221	T - 304	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
221	222	T - 305	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
221	226	T - 306	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
222	223	T - 307	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
222	225	T - 308	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
223	224	T - 309	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
223	225	T - 310	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
225	226	T - 311	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
227	229	T - 312	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
228	233	T - 313	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
228	229	T - 314	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
229	230	T - 315	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
229	234	T - 316	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
230	235	T - 317	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
231	232	T - 318	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
231	246	T - 319	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
232	247	T - 320	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
233	234	T - 321	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
233	237	T - 322	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
234	235	T - 323	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
234	238	T - 324	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
235	236	T - 325	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
236	239	T - 326	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
237	238	T - 327	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
237	240	T - 328	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
238	239	T - 329	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
239	241	T - 330	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
240	241	T - 331	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
240	242	T - 332	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
241	243	T - 333	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
242	243	T - 334	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
242	244	T - 335	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
243	244	T - 336	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
244	245	T - 337	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
245	246	T - 338	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
245	266	T - 339	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
246	247	T - 340	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
246	249	T - 341	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
246	251	T - 342	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
247	248	T - 343	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
249	250	T - 344	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
249	263	T - 345	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
251	252	T - 346	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
251	264	T - 347	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
251	257	T - 348	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4	0,00	7,30	4	2,37
253	264	T - 349	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
253	254	T - 350	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
253	258	T - 351	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
254	255	T - 352	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
256	257	T - 353	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
257	260	T - 354	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
257	265	T - 355	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
258	265	T - 356	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
258	259	T - 357	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
259	260	T - 358	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
260	261	T - 359	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37
266	27-R	T - 360	329	0	0%	329	0	0%	1	12	4,00	0,00	7,30	4,00	2,37

Tabela D-10 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	RISCO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
								Peso =	0,54	Peso =	0,11	Peso =		0,35	
1	3	T - 1	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
2	3	T - 2	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
3	6	T - 3	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
4	6	T - 4	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
5	6	T - 5	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
6	8	T - 6	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
7	8	T - 7	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
8	9	T - 8	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
10	9	T - 9	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
9	11	T - 10	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
12	13	T - 11	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
13	8	T - 12	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
13	14	T - 13	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
14	9	T - 14	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
14	15	T - 15	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
15	100	T - 16	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
16	17	T - 17	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
17	13	T - 18	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
17	18	T - 19	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
18	19	T - 20	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
18	14	T - 21	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
19	15	T - 22	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
20	21	T - 23	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
21	17	T - 24	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
22	21	T - 25	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
22	18	T - 26	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
23	19	T - 27	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
23	22	T - 28	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
24	25	T - 29	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
25	21	T - 30	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
26	22	T - 31	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
26	25	T - 32	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
26	27	T - 33	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
27	23	T - 34	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
28	29	T - 35	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
29	30	T - 36	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
29	25	T - 37	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
30	31	T - 38	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
31	32	T - 39	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
33	34	T - 40	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
34	29	T - 41	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
35	34	T - 42	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
36	34	T - 43	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
36	30	T - 44	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
37	36	T - 45	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
38	31	T - 46	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
38	36	T - 47	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
38	40	T - 48	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
39	40	T - 49	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
41	40	T - 50	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
41	42	T - 51	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
43	42	T - 52	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
44	41	T - 53	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
44	45	T - 54	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35

Tabela D-10 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras <i>E. coli</i>	Número de amostras Presença <i>E. coli</i>	Percentual de amostras com presença de <i>E. coli</i>	Perigo coliformes e <i>E. coli</i>	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	RISCO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
								Peso =	0,54	Peso =	0,11	Peso =		0,35	
44	47	T - 55	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
45	46	T - 56	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
45	48	T - 57	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
46	49	T - 58	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
47	48	T - 59	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
47	80	T - 60	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
48	64	T - 61	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
49	50	T - 62	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
49	52	T - 63	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
50	51	T - 64	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
51	52	T - 65	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
50	53	T - 66	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
53	54	T - 67	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
53	64	T - 68	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
53	63	T - 69	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
54	55	T - 70	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
55	56	T - 71	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
56	57	T - 72	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
56	60	T - 73	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
57	58	T - 74	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
57	59	T - 75	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
59	60	T - 76	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
59	61	T - 77	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
60	61	T - 78	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
61	62	T - 79	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
63	65	T - 80	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
64	65	T - 81	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
66	67	T - 82	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
67	69	T - 83	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
68	69	T - 84	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
69	71	T - 85	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
70	71	T - 86	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
71	75	T - 87	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
72	73	T - 88	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
73	74	T - 89	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
74	75	T - 90	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
75	77	T - 91	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
76	77	T - 92	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
77	78	T - 93	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
78	79	T - 94	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
78	86	T - 95	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
79	80	T - 96	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
80	65	T - 97	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
81	80	T - 98	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
81	87	T - 99	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
82	83	T - 100	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
83	84	T - 101	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
83	79	T - 102	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
83	91	T - 103	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
84	85	T - 104	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
84	32	T - 105	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
84	90	T - 106	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
85	42	T - 107	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35

Tabela D-10 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	RISCO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
								Peso =	0,54	Peso =	0,11	Peso =		0,35	
85	44	T - 108	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
86	91	T - 109	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
87	90	T - 110	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
88	89	T - 111	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
89	90	T - 112	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
90	94	T - 113	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
91	92	T - 114	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
92	98	T - 115	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
92	93	T - 116	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
93	114	T - 117	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
94	115	T - 118	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
95	97	T - 119	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
96	97	T - 120	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
97	19	T - 121	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
98	97	T - 122	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
98	23	T - 123	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
99	11	T - 124	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
100	11	T - 125	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
100	104	T - 126	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
101	102	T - 127	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
102	11	T - 128	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
102	103	T - 129	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
103	104	T - 130	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
103	108	T - 131	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
104	106	T - 132	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
105	106	T - 133	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
107	106	T - 134	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
107	15	T - 135	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
108	109	T - 136	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
108	110	T - 137	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
109	107	T - 138	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
109	111	T - 139	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
110	111	T - 140	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
111	113	T - 141	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
112	113	T - 142	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
113	114	T - 143	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
114	115	T - 144	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
115	131	T - 145	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
116	118	T - 146	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
117	118	T - 147	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
118	120	T - 148	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
119	120	T - 149	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
120	122	T - 150	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
121	122	T - 151	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
122	123	T - 152	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
123	124	T - 153	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
125	126	T - 154	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
126	123	T - 155	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
127	126	T - 156	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
128	127	T - 157	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
129	130	T - 158	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
130	128	T - 159	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
131	130	T - 160	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35
132	131	T - 161	53	0,00	0,00	53	0,00	0,00	1,00	0,85	1,00	0,85	8,35	2,00	1,35

Tabela D-11 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-2 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Número total de amostras Coliformes	Número de amostras Presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo Coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	PERIGO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
17	16	T - 1	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
19	17	T - 2	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
19	18	T - 3	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
21	19	T - 4	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
21	20	T - 5	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
23	21	T - 6	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
23	22	T - 7	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
25	23	T - 8	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
25	24	T - 9	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
27	25	T - 10	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
27	26	T - 11	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
28	27	T - 12	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
28	15	T - 13	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
29	28	T - 14	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
30	29	T - 15	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
31	30	T - 16	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
32	31	T - 17	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
33	32	T - 18	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
34	33	T - 19	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
35	34	T - 20	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
36	35	T - 21	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
37	36	T - 22	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
38	37	T - 23	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
39	38	T - 24	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
40	39	T - 25	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
41	40	T - 26	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
42	41	T - 27	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
43	42	T - 28	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
44	43	T - 29	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
45	44	T - 30	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00
46	45 - RAP	T - 31	10,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	1	0,70	1	0,73	0,00	1	1,00

Tabela D-12 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-2 – Vulnerabilidade da Qualidade da Água (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	Número total de amostras Coliformes	Número de amostras com presença Coliformes	Percentual de amostras com presença de coliformes	Número total de amostras E. coli	Número de amostras Presença E. coli	Percentual de amostras com presença de E. coli	Perigo coliformes e E. coli	Maior valor de Turbidez	Perigo Turbidez	Menor Residual de Cloro	pH associado	Perigo Residual de Cloro	PERIGO VULNERABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA
2	1	T - 1	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
4	2	T - 2	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
4	3	T - 3	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
6	4	T - 4	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
6	5	T - 5	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
8	6	T - 6	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
8	7	T - 7	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
10	8	T - 8	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
10	9	T - 9	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
12	10	T - 10	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
12	11	T - 11	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
14	12	T - 12	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
14	13	T - 13	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1
15	14	T - 14	15	0	0%	15	0	0%	1	0,6	1	0,73	7,83	1	1

ADENDO E – MATRIZ DE RISCO
FATOR: SUSCETIBILIDADE

Tabela E-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Suscetibilidade da População.

Nó i	Nó j	Trecho k	SUSCETIBILIDADE			
			População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
			Peso =	0,5	0,5	
2	1	T - 1	9019	4,00	2,00	3,00
4	2	T - 2	9019	4,00	2,00	3,00
4	3	T - 3	9019	4,00	2,00	3,00
6	4	T - 4	9019	4,00	2,00	3,00
6	5	T - 5	9019	4,00	2,00	3,00
8	6	T - 6	9019	4,00	2,00	3,00
8	7	T - 7	9019	4,00	2,00	3,00
10	8	T - 8	9019	4,00	2,00	3,00
10	9	T - 9	9019	4,00	2,00	3,00
12	10	T - 10	9019	4,00	2,00	3,00
12	11	T - 11	9019	4,00	2,00	3,00
14	12	T - 12	9019	4,00	2,00	3,00
14	13	T - 13	9019	4,00	2,00	3,00
16	14	T - 14	9019	4,00	2,00	3,00
16	15	T - 15	9019	4,00	2,00	3,00
18	16	T - 16	9019	4,00	2,00	3,00
18	17	T - 17	9019	4,00	2,00	3,00
20	18	T - 18	9019	4,00	2,00	3,00
20	19	T - 19	9019	4,00	2,00	3,00
21	20	T - 20	9019	4,00	2,00	3,00
22	21	T - 21	9019	4,00	2,00	3,00
23	22	T - 22	9019	4,00	2,00	3,00
24	23	T - 23	9019	4,00	2,00	3,00
24	78	T - 24	9019	4,00	2,00	3,00
24	94	T - 25	9019	4,00	2,00	3,00
27	25	T - 26	9019	4,00	2,00	3,00
27	26	T - 27	9019	4,00	2,00	3,00
27	28	T - 28	9019	4,00	2,00	3,00
27	30	T - 29	9019	4,00	2,00	3,00
28	29	T - 30	9019	4,00	2,00	3,00
29	30	T - 31	9019	4,00	2,00	3,00
29	31	T - 32	9019	4,00	2,00	3,00
30	32	T - 33	9019	4,00	2,00	3,00
31	32	T - 34	9019	4,00	2,00	3,00
31	34	T - 35	9019	4,00	2,00	3,00
32	40	T - 36	9019	4,00	2,00	3,00
33	36	T - 37	9019	4,00	2,00	3,00
33	34	T - 38	9019	4,00	2,00	3,00
34	39	T - 39	9019	4,00	2,00	3,00
34	35	T - 40	9019	4,00	2,00	3,00
36	38	T - 41	9019	4,00	2,00	3,00
37	38	T - 42	9019	4,00	2,00	3,00
38	39	T - 43	9019	4,00	2,00	3,00
39	40	T - 44	9019	4,00	2,00	3,00
39	44	T - 45	9019	4,00	2,00	3,00
40	41	T - 46	9019	4,00	2,00	3,00
40	45	T - 47	9019	4,00	2,00	3,00
41	42	T - 48	9019	4,00	2,00	3,00
41	46	T - 49	9019	4,00	2,00	3,00
42	51	T - 50	9019	4,00	2,00	3,00
43	44	T - 51	9019	4,00	2,00	3,00
44	45	T - 52	9019	4,00	2,00	3,00
44	48	T - 53	9019	4,00	2,00	3,00
45	46	T - 54	9019	4,00	2,00	3,00
45	49	T - 55	9019	4,00	2,00	3,00
46	50	T - 56	9019	4,00	2,00	3,00
47	48	T - 57	9019	4,00	2,00	3,00
48	49	T - 58	9019	4,00	2,00	3,00
48	54	T - 59	9019	4,00	2,00	3,00
49	50	T - 60	9019	4,00	2,00	3,00

Tabela E-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Suscetibilidade da População (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	SUSCETIBILIDADE			
			População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
			Peso =	0,5	0,5	
49	55	T - 61	9019	4,00	2,00	3,00
50	51	T - 62	9019	4,00	2,00	3,00
51	57	T - 63	9019	4,00	2,00	3,00
52	53	T - 64	9019	4,00	2,00	3,00
53	54	T - 65	9019	4,00	2,00	3,00
53	84	T - 66	9019	4,00	2,00	3,00
54	55	T - 67	9019	4,00	2,00	3,00
54	61	T - 68	9019	4,00	2,00	3,00
55	56	T - 69	9019	4,00	2,00	3,00
55	63	T - 70	9019	4,00	2,00	3,00
56	50	T - 71	9019	4,00	2,00	3,00
56	57	T - 72	9019	4,00	2,00	3,00
56	64	T - 73	9019	4,00	2,00	3,00
57	58	T - 74	9019	4,00	2,00	3,00
57	65	T - 75	9019	4,00	2,00	3,00
58	59	T - 76	9019	4,00	2,00	3,00
58	66	T - 77	9019	4,00	2,00	3,00
60	61	T - 78	9019	4,00	2,00	3,00
61	62	T - 79	9019	4,00	2,00	3,00
62	63	T - 80	9019	4,00	2,00	3,00
62	75	T - 81	9019	4,00	2,00	3,00
63	64	T - 82	9019	4,00	2,00	3,00
63	76	T - 83	9019	4,00	2,00	3,00
64	65	T - 84	9019	4,00	2,00	3,00
64	77	T - 85	9019	4,00	2,00	3,00
65	66	T - 86	9019	4,00	2,00	3,00
65	78	T - 87	9019	4,00	2,00	3,00
66	67	T - 88	9019	4,00	2,00	3,00
67	82	T - 89	9019	4,00	2,00	3,00
68	67	T - 90	9019	4,00	2,00	3,00
69	80	T - 91	9019	4,00	2,00	3,00
69	70	T - 92	9019	4,00	2,00	3,00
70	72	T - 93	9019	4,00	2,00	3,00
71	70	T - 94	9019	4,00	2,00	3,00
73	74	T - 95	9019	4,00	2,00	3,00
74	75	T - 96	9019	4,00	2,00	3,00
75	76	T - 97	9019	4,00	2,00	3,00
76	77	T - 98	9019	4,00	2,00	3,00
76	88	T - 99	9019	4,00	2,00	3,00
77	78	T - 100	9019	4,00	2,00	3,00
77	89	T - 101	9019	4,00	2,00	3,00
78	79	T - 102	9019	4,00	2,00	3,00
79	80	T - 103	9019	4,00	2,00	3,00
79	83	T - 104	9019	4,00	2,00	3,00
80	81	T - 105	9019	4,00	2,00	3,00
80	91	T - 106	9019	4,00	2,00	3,00
81	92	T - 107	9019	4,00	2,00	3,00
81	82	T - 108	9019	4,00	2,00	3,00
82	93	T - 109	9019	4,00	2,00	3,00
84	107	T - 110	9019	4,00	2,00	3,00
84	86	T - 111	9019	4,00	2,00	3,00
85	86	T - 112	9019	4,00	2,00	3,00
86	88	T - 113	9019	4,00	2,00	3,00
87	86	T - 114	9019	4,00	2,00	3,00
88	89	T - 115	9019	4,00	2,00	3,00
88	101	T - 116	9019	4,00	2,00	3,00
89	90	T - 117	9019	4,00	2,00	3,00
89	100	T - 118	9019	4,00	2,00	3,00
90	99	T - 119	9019	4,00	2,00	3,00
90	91	T - 120	9019	4,00	2,00	3,00

Tabela E-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Suscetibilidade da População (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	SUSCETIBILIDADE			
			População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
			Peso =	0,5	0,5	
91	92	T - 121	9019	4,00	2,00	3,00
91	98	T - 122	9019	4,00	2,00	3,00
92	93	T - 123	9019	4,00	2,00	3,00
92	97	T - 124	9019	4,00	2,00	3,00
93	96	T - 125	9019	4,00	2,00	3,00
94	95	T - 126	9019	4,00	2,00	3,00
95	139	T - 127	9019	4,00	2,00	3,00
96	106	T - 128	9019	4,00	2,00	3,00
96	97	T - 129	9019	4,00	2,00	3,00
97	98	T - 130	9019	4,00	2,00	3,00
97	123	T - 131	9019	4,00	2,00	3,00
98	99	T - 132	9019	4,00	2,00	3,00
98	121	T - 133	9019	4,00	2,00	3,00
99	100	T - 134	9019	4,00	2,00	3,00
99	120	T - 135	9019	4,00	2,00	3,00
100	101	T - 136	9019	4,00	2,00	3,00
100	119	T - 137	9019	4,00	2,00	3,00
101	102	T - 138	9019	4,00	2,00	3,00
101	118	T - 139	9019	4,00	2,00	3,00
102	103	T - 140	9019	4,00	2,00	3,00
102	104	T - 141	9019	4,00	2,00	3,00
104	105	T - 143	9019	4,00	2,00	3,00
106	266	T - 144	9019	4,00	2,00	3,00
106	123	T - 145	9019	4,00	2,00	3,00
106	140	T - 146	9019	4,00	2,00	3,00
106	139	T - 147	9019	4,00	2,00	3,00
107	108	T - 148	9019	4,00	2,00	3,00
107	112	T - 149	9019	4,00	2,00	3,00
108	109	T - 150	9019	4,00	2,00	3,00
109	110	T - 151	9019	4,00	2,00	3,00
110	111	T - 152	9019	4,00	2,00	3,00
111	112	T - 153	9019	4,00	2,00	3,00
113	112	T - 154	9019	4,00	2,00	3,00
113	115	T - 155	9019	4,00	2,00	3,00
114	115	T - 156	9019	4,00	2,00	3,00
115	116	T - 157	9019	4,00	2,00	3,00
116	117	T - 158	9019	4,00	2,00	3,00
117	118	T - 159	9019	4,00	2,00	3,00
118	124	T - 160	9019	4,00	2,00	3,00
118	119	T - 161	9019	4,00	2,00	3,00
118	131	T - 162	9019	4,00	2,00	3,00
119	120	T - 163	9019	4,00	2,00	3,00
119	132	T - 164	9019	4,00	2,00	3,00
120	121	T - 165	9019	4,00	2,00	3,00
121	123	T - 166	9019	4,00	2,00	3,00
121	135	T - 167	9019	4,00	2,00	3,00
122	123	T - 168	9019	4,00	2,00	3,00
124	129	T - 169	9019	4,00	2,00	3,00
125	126	T - 170	9019	4,00	2,00	3,00
126	128	T - 171	9019	4,00	2,00	3,00
126	144	T - 172	9019	4,00	2,00	3,00
127	128	T - 173	9019	4,00	2,00	3,00
128	129	T - 174	9019	4,00	2,00	3,00
128	145	T - 175	9019	4,00	2,00	3,00
129	130	T - 176	9019	4,00	2,00	3,00
131	149	T - 177	9019	4,00	2,00	3,00
131	132	T - 178	9019	4,00	2,00	3,00
132	134	T - 179	9019	4,00	2,00	3,00
132	150	T - 180	9019	4,00	2,00	3,00

Tabela E-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Suscetibilidade da População (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	SUSCETIBILIDADE			
			População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
			Peso =	0,5	0,5	
133	134	T - 181	9019	4,00	2,00	3,00
134	135	T - 182	9019	4,00	2,00	3,00
134	151	T - 183	9019	4,00	2,00	3,00
135	152	T - 184	9019	4,00	2,00	3,00
136	137	T - 185	9019	4,00	2,00	3,00
137	138	T - 186	9019	4,00	2,00	3,00
137	153	T - 187	9019	4,00	2,00	3,00
138	140	T - 188	9019	4,00	2,00	3,00
138	154	T - 189	9019	4,00	2,00	3,00
140	141	T - 190	9019	4,00	2,00	3,00
143	144	T - 192	9019	4,00	2,00	3,00
144	146	T - 193	9019	4,00	2,00	3,00
146	155	T - 194	9019	4,00	2,00	3,00
146	147	T - 195	9019	4,00	2,00	3,00
147	148	T - 196	9019	4,00	2,00	3,00
147	156	T - 197	9019	4,00	2,00	3,00
147	129	T - 198	9019	4,00	2,00	3,00
148	149	T - 199	9019	4,00	2,00	3,00
148	118	T - 200	9019	4,00	2,00	3,00
148	157	T - 201	9019	4,00	2,00	3,00
149	150	T - 202	9019	4,00	2,00	3,00
150	151	T - 203	9019	4,00	2,00	3,00
150	158	T - 204	9019	4,00	2,00	3,00
151	152	T - 205	9019	4,00	2,00	3,00
151	160	T - 206	9019	4,00	2,00	3,00
152	153	T - 207	9019	4,00	2,00	3,00
152	161	T - 208	9019	4,00	2,00	3,00
153	154	T - 209	9019	4,00	2,00	3,00
153	162	T - 210	9019	4,00	2,00	3,00
154	163	T - 211	9019	4,00	2,00	3,00
156	157	T - 212	9019	4,00	2,00	3,00
157	158	T - 213	9019	4,00	2,00	3,00
157	165	T - 214	9019	4,00	2,00	3,00
158	166	T - 215	9019	4,00	2,00	3,00
159	160	T - 216	9019	4,00	2,00	3,00
159	167	T - 217	9019	4,00	2,00	3,00
160	161	T - 218	9019	4,00	2,00	3,00
160	169	T - 219	9019	4,00	2,00	3,00
161	185	T - 220	9019	4,00	2,00	3,00
161	162	T - 221	9019	4,00	2,00	3,00
162	163	T - 222	9019	4,00	2,00	3,00
162	187	T - 223	9019	4,00	2,00	3,00
163	188	T - 224	9019	4,00	2,00	3,00
164	165	T - 225	9019	4,00	2,00	3,00
164	171	T - 226	9019	4,00	2,00	3,00
165	166	T - 227	9019	4,00	2,00	3,00
167	168	T - 228	9019	4,00	2,00	3,00
167	169	T - 229	9019	4,00	2,00	3,00
168	170	T - 230	9019	4,00	2,00	3,00
168	173	T - 231	9019	4,00	2,00	3,00
169	170	T - 232	9019	4,00	2,00	3,00
170	175	T - 233	9019	4,00	2,00	3,00
171	172	T - 234	9019	4,00	2,00	3,00
172	177	T - 235	9019	4,00	2,00	3,00
173	174	T - 236	9019	4,00	2,00	3,00
173	175	T - 237	9019	4,00	2,00	3,00
174	176	T - 238	9019	4,00	2,00	3,00
174	181	T - 239	9019	4,00	2,00	3,00
175	176	T - 240	9019	4,00	2,00	3,00

Tabela E-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Suscetibilidade da População (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	SUSCETIBILIDADE			
			População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
			Peso =	0,5	0,5	
176	183	T - 241	9019	4,00	2,00	3,00
177	178	T - 242	9019	4,00	2,00	3,00
177	180	T - 243	9019	4,00	2,00	3,00
177	182	T - 244	9019	4,00	2,00	3,00
178	179	T - 245	9019	4,00	2,00	3,00
179	180	T - 246	9019	4,00	2,00	3,00
181	182	T - 247	9019	4,00	2,00	3,00
181	183	T - 248	9019	4,00	2,00	3,00
182	184	T - 249	9019	4,00	2,00	3,00
183	184	T - 250	9019	4,00	2,00	3,00
184	186	T - 251	9019	4,00	2,00	3,00
185	186	T - 252	9019	4,00	2,00	3,00
185	187	T - 253	9019	4,00	2,00	3,00
186	187	T - 254	9019	4,00	2,00	3,00
187	188	T - 255	9019	4,00	2,00	3,00
188	190	T - 256	9019	4,00	2,00	3,00
189	186	T - 257	9019	4,00	2,00	3,00
189	190	T - 258	9019	4,00	2,00	3,00
189	191	T - 259	9019	4,00	2,00	3,00
189	192	T - 260	9019	4,00	2,00	3,00
190	210	T - 261	9019	4,00	2,00	3,00
192	199	T - 262	9019	4,00	2,00	3,00
192	193	T - 263	9019	4,00	2,00	3,00
193	194	T - 264	9019	4,00	2,00	3,00
194	195	T - 265	9019	4,00	2,00	3,00
194	197	T - 266	9019	4,00	2,00	3,00
195	196	T - 267	9019	4,00	2,00	3,00
196	197	T - 268	9019	4,00	2,00	3,00
197	198	T - 269	9019	4,00	2,00	3,00
198	199	T - 270	9019	4,00	2,00	3,00
198	202	T - 271	9019	4,00	2,00	3,00
199	200	T - 272	9019	4,00	2,00	3,00
200	202	T - 273	9019	4,00	2,00	3,00
201	209	T - 274	9019	4,00	2,00	3,00
201	216	T - 275	9019	4,00	2,00	3,00
201	227	T - 276	9019	4,00	2,00	3,00
202	203	T - 277	9019	4,00	2,00	3,00
203	204	T - 278	9019	4,00	2,00	3,00
203	206	T - 279	9019	4,00	2,00	3,00
204	205	T - 280	9019	4,00	2,00	3,00
205	206	T - 281	9019	4,00	2,00	3,00
205	208	T - 282	9019	4,00	2,00	3,00
206	207	T - 283	9019	4,00	2,00	3,00
207	208	T - 284	9019	4,00	2,00	3,00
207	212	T - 285	9019	4,00	2,00	3,00
208	211	T - 286	9019	4,00	2,00	3,00
208	209	T - 287	9019	4,00	2,00	3,00
209	210	T - 288	9019	4,00	2,00	3,00
210	228	T - 289	9019	4,00	2,00	3,00
211	212	T - 290	9019	4,00	2,00	3,00
213	214	T - 291	9019	4,00	2,00	3,00
213	215	T - 292	9019	4,00	2,00	3,00
214	216	T - 293	9019	4,00	2,00	3,00
215	216	T - 294	9019	4,00	2,00	3,00
216	218	T - 295	9019	4,00	2,00	3,00
217	227	T - 296	9019	4,00	2,00	3,00
217	231	T - 297	9019	4,00	2,00	3,00
217	236	T - 298	9019	4,00	2,00	3,00
217	230	T - 299	9019	4,00	2,00	3,00
218	219	T - 300	9019	4,00	2,00	3,00

Tabela E-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 – Suscetibilidade da População (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	SUSCETIBILIDADE			
			População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
			Peso =	0,5	0,5	
218	224	T - 301	9019	4,00	2,00	3,00
219	220	T - 302	9019	4,00	2,00	3,00
219	226	T - 303	9019	4,00	2,00	3,00
220	221	T - 304	9019	4,00	2,00	3,00
221	222	T - 305	9019	4,00	2,00	3,00
221	226	T - 306	9019	4,00	2,00	3,00
222	223	T - 307	9019	4,00	2,00	3,00
222	225	T - 308	9019	4,00	2,00	3,00
223	224	T - 309	9019	4,00	2,00	3,00
223	225	T - 310	9019	4,00	2,00	3,00
225	226	T - 311	9019	4,00	2,00	3,00
227	229	T - 312	9019	4,00	2,00	3,00
228	233	T - 313	9019	4,00	2,00	3,00
228	229	T - 314	9019	4,00	2,00	3,00
229	230	T - 315	9019	4,00	2,00	3,00
229	234	T - 316	9019	4,00	2,00	3,00
230	235	T - 317	9019	4,00	2,00	3,00
231	232	T - 318	9019	4,00	2,00	3,00
231	246	T - 319	9019	4,00	2,00	3,00
232	247	T - 320	9019	4,00	2,00	3,00
233	234	T - 321	9019	4,00	2,00	3,00
233	237	T - 322	9019	4,00	2,00	3,00
234	235	T - 323	9019	4,00	2,00	3,00
234	238	T - 324	9019	4,00	2,00	3,00
235	236	T - 325	9019	4,00	2,00	3,00
236	239	T - 326	9019	4,00	2,00	3,00
237	238	T - 327	9019	4,00	2,00	3,00
237	240	T - 328	9019	4,00	2,00	3,00
238	239	T - 329	9019	4,00	2,00	3,00
239	241	T - 330	9019	4,00	2,00	3,00
240	241	T - 331	9019	4,00	2,00	3,00
240	242	T - 332	9019	4,00	2,00	3,00
241	243	T - 333	9019	4,00	2,00	3,00
242	243	T - 334	9019	4,00	2,00	3,00
242	244	T - 335	9019	4,00	2,00	3,00
243	244	T - 336	9019	4,00	2,00	3,00
244	245	T - 337	9019	4,00	2,00	3,00
245	246	T - 338	9019	4,00	2,00	3,00
245	266	T - 339	9019	4,00	2,00	3,00
246	247	T - 340	9019	4,00	2,00	3,00
246	249	T - 341	9019	4,00	2,00	3,00
246	251	T - 342	9019	4,00	2,00	3,00
247	248	T - 343	9019	4,00	2,00	3,00
249	250	T - 344	9019	4,00	2,00	3,00
249	263	T - 345	9019	4,00	2,00	3,00
251	252	T - 346	9019	4,00	2,00	3,00
251	264	T - 347	9019	4,00	2,00	3,00
251	257	T - 348	9019	4,00	2,00	3,00
253	264	T - 349	9019	4,00	2,00	3,00
253	254	T - 350	9019	4,00	2,00	3,00
253	258	T - 351	9019	4,00	2,00	3,00
254	255	T - 352	9019	4,00	2,00	3,00
256	257	T - 353	9019	4,00	2,00	3,00
257	260	T - 354	9019	4,00	2,00	3,00
257	265	T - 355	9019	4,00	2,00	3,00
258	265	T - 356	9019	4,00	2,00	3,00
258	259	T - 357	9019	4,00	2,00	3,00
259	260	T - 358	9019	4,00	2,00	3,00
260	261	T - 359	9019	4,00	2,00	3,00
266	57-R	T - 360	9019	4,00	2,00	3,00

Tabela E-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Suscetibilidade da População..

Nó i	Nó j	Trecho k	População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
1	3	T - 1	4452	3,00	4,00	3,50
2	3	T - 2	4452	3,00	4,00	3,50
3	6	T - 3	4452	3,00	4,00	3,50
4	6	T - 4	4452	3,00	4,00	3,50
5	6	T - 5	4452	3,00	4,00	3,50
6	8	T - 6	4452	3,00	4,00	3,50
7	8	T - 7	4452	3,00	4,00	3,50
8	9	T - 8	4452	3,00	4,00	3,50
10	9	T - 9	4452	3,00	4,00	3,50
9	11	T - 10	4452	3,00	4,00	3,50
12	13	T - 11	4452	3,00	4,00	3,50
13	8	T - 12	4452	3,00	4,00	3,50
13	14	T - 13	4452	3,00	4,00	3,50
14	9	T - 14	4452	3,00	4,00	3,50
14	15	T - 15	4452	3,00	4,00	3,50
15	100	T - 16	4452	3,00	4,00	3,50
16	17	T - 17	4452	3,00	4,00	3,50
17	13	T - 18	4452	3,00	4,00	3,50
17	18	T - 19	4452	3,00	4,00	3,50
18	19	T - 20	4452	3,00	4,00	3,50
18	14	T - 21	4452	3,00	4,00	3,50
19	15	T - 22	4452	3,00	4,00	3,50
20	21	T - 23	4452	3,00	4,00	3,50
21	17	T - 24	4452	3,00	4,00	3,50
22	21	T - 25	4452	3,00	4,00	3,50
22	18	T - 26	4452	3,00	4,00	3,50
23	19	T - 27	4452	3,00	4,00	3,50
23	22	T - 28	4452	3,00	4,00	3,50
24	25	T - 29	4452	3,00	4,00	3,50
25	21	T - 30	4452	3,00	4,00	3,50
26	22	T - 31	4452	3,00	4,00	3,50
26	25	T - 32	4452	3,00	4,00	3,50
26	27	T - 33	4452	3,00	4,00	3,50
27	23	T - 34	4452	3,00	4,00	3,50
28	29	T - 35	4452	3,00	4,00	3,50
29	30	T - 36	4452	3,00	4,00	3,50
29	25	T - 37	4452	3,00	4,00	3,50
30	31	T - 38	4452	3,00	4,00	3,50
31	32	T - 39	4452	3,00	4,00	3,50
33	34	T - 40	4452	3,00	4,00	3,50
34	29	T - 41	4452	3,00	4,00	3,50
35	34	T - 42	4452	3,00	4,00	3,50
36	34	T - 43	4452	3,00	4,00	3,50
36	30	T - 44	4452	3,00	4,00	3,50
37	36	T - 45	4452	3,00	4,00	3,50
38	31	T - 46	4452	3,00	4,00	3,50
38	36	T - 47	4452	3,00	4,00	3,50
38	40	T - 48	4452	3,00	4,00	3,50
39	40	T - 49	4452	3,00	4,00	3,50
41	40	T - 50	4452	3,00	4,00	3,50
41	42	T - 51	4452	3,00	4,00	3,50
43	42	T - 52	4452	3,00	4,00	3,50
44	41	T - 53	4452	3,00	4,00	3,50
44	45	T - 54	4452	3,00	4,00	3,50

Tabela E-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Suscetibilidade da População (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
44	47	T - 55	4452	3,00	4,00	3,50
45	46	T - 56	4452	3,00	4,00	3,50
45	48	T - 57	4452	3,00	4,00	3,50
46	49	T - 58	4452	3,00	4,00	3,50
47	48	T - 59	4452	3,00	4,00	3,50
47	80	T - 60	4452	3,00	4,00	3,50
48	64	T - 61	4452	3,00	4,00	3,50
49	50	T - 62	4452	3,00	4,00	3,50
49	52	T - 63	4452	3,00	4,00	3,50
50	51	T - 64	4452	3,00	4,00	3,50
51	52	T - 65	4452	3,00	4,00	3,50
50	53	T - 66	4452	3,00	4,00	3,50
53	54	T - 67	4452	3,00	4,00	3,50
53	64	T - 68	4452	3,00	4,00	3,50
53	63	T - 69	4452	3,00	4,00	3,50
54	55	T - 70	4452	3,00	4,00	3,50
55	56	T - 71	4452	3,00	4,00	3,50
56	57	T - 72	4452	3,00	4,00	3,50
56	60	T - 73	4452	3,00	4,00	3,50
57	58	T - 74	4452	3,00	4,00	3,50
57	59	T - 75	4452	3,00	4,00	3,50
59	60	T - 76	4452	3,00	4,00	3,50
59	61	T - 77	4452	3,00	4,00	3,50
60	61	T - 78	4452	3,00	4,00	3,50
61	62	T - 79	4452	3,00	4,00	3,50
63	65	T - 80	4452	3,00	4,00	3,50
64	65	T - 81	4452	3,00	4,00	3,50
66	67	T - 82	4452	3,00	4,00	3,50
67	69	T - 83	4452	3,00	4,00	3,50
68	69	T - 84	4452	3,00	4,00	3,50
69	71	T - 85	4452	3,00	4,00	3,50
70	71	T - 86	4452	3,00	4,00	3,50
71	75	T - 87	4452	3,00	4,00	3,50
72	73	T - 88	4452	3,00	4,00	3,50
73	74	T - 89	4452	3,00	4,00	3,50
74	75	T - 90	4452	3,00	4,00	3,50
75	77	T - 91	4452	3,00	4,00	3,50
76	77	T - 92	4452	3,00	4,00	3,50
77	78	T - 93	4452	3,00	4,00	3,50
78	79	T - 94	4452	3,00	4,00	3,50
78	86	T - 95	4452	3,00	4,00	3,50
79	80	T - 96	4452	3,00	4,00	3,50
80	65	T - 97	4452	3,00	4,00	3,50
81	80	T - 98	4452	3,00	4,00	3,50
81	87	T - 99	4452	3,00	4,00	3,50
82	83	T - 100	4452	3,00	4,00	3,50
83	84	T - 101	4452	3,00	4,00	3,50
83	79	T - 102	4452	3,00	4,00	3,50
83	91	T - 103	4452	3,00	4,00	3,50
84	85	T - 104	4452	3,00	4,00	3,50
84	32	T - 105	4452	3,00	4,00	3,50
84	90	T - 106	4452	3,00	4,00	3,50
85	42	T - 107	4452	3,00	4,00	3,50
85	44	T - 108	4452	3,00	4,00	3,50

Tabela E-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 – Suscetibilidade da População (continuação).

Nó i	Nó j	Trecho k	População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
			Peso =	0,5	0,5	
85	44	T - 108	4452	3,00	4,00	3,50
86	91	T - 109	4452	3,00	4,00	3,50
87	90	T - 110	4452	3,00	4,00	3,50
88	89	T - 111	4452	3,00	4,00	3,50
89	90	T - 112	4452	3,00	4,00	3,50
90	94	T - 113	4452	3,00	4,00	3,50
91	92	T - 114	4452	3,00	4,00	3,50
92	98	T - 115	4452	3,00	4,00	3,50
92	93	T - 116	4452	3,00	4,00	3,50
93	114	T - 117	4452	3,00	4,00	3,50
94	115	T - 118	4452	3,00	4,00	3,50
95	97	T - 119	4452	3,00	4,00	3,50
96	97	T - 120	4452	3,00	4,00	3,50
97	19	T - 121	4452	3,00	4,00	3,50
98	97	T - 122	4452	3,00	4,00	3,50
98	23	T - 123	4452	3,00	4,00	3,50
99	11	T - 124	4452	3,00	4,00	3,50
100	11	T - 125	4452	3,00	4,00	3,50
100	104	T - 126	4452	3,00	4,00	3,50
101	102	T - 127	4452	3,00	4,00	3,50
102	11	T - 128	4452	3,00	4,00	3,50
102	103	T - 129	4452	3,00	4,00	3,50
103	104	T - 130	4452	3,00	4,00	3,50
103	108	T - 131	4452	3,00	4,00	3,50
104	106	T - 132	4452	3,00	4,00	3,50
105	106	T - 133	4452	3,00	4,00	3,50
107	106	T - 134	4452	3,00	4,00	3,50
107	15	T - 135	4452	3,00	4,00	3,50
108	109	T - 136	4452	3,00	4,00	3,50
108	110	T - 137	4452	3,00	4,00	3,50
109	107	T - 138	4452	3,00	4,00	3,50
109	111	T - 139	4452	3,00	4,00	3,50
110	111	T - 140	4452	3,00	4,00	3,50
111	113	T - 141	4452	3,00	4,00	3,50
112	113	T - 142	4452	3,00	4,00	3,50
113	114	T - 143	4452	3,00	4,00	3,50
114	115	T - 144	4452	3,00	4,00	3,50
115	131	T - 145	4452	3,00	4,00	3,50
116	118	T - 146	4452	3,00	4,00	3,50
117	118	T - 147	4452	3,00	4,00	3,50
118	120	T - 148	4452	3,00	4,00	3,50
119	120	T - 149	4452	3,00	4,00	3,50
120	122	T - 150	4452	3,00	4,00	3,50
121	122	T - 151	4452	3,00	4,00	3,50
122	123	T - 152	4452	3,00	4,00	3,50
123	124	T - 153	4452	3,00	4,00	3,50
125	126	T - 154	4452	3,00	4,00	3,50
126	123	T - 155	4452	3,00	4,00	3,50
127	126	T - 156	4452	3,00	4,00	3,50
128	127	T - 157	4452	3,00	4,00	3,50
129	130	T - 158	4452	3,00	4,00	3,50
130	128	T - 159	4452	3,00	4,00	3,50
131	130	T - 160	4452	3,00	4,00	3,50
132	131	T - 161	4452	3,00	4,00	3,50

Tabela E-3 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-2 – Suscetibilidade da População.

Nó j	Trecho k	População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
16	T - 1	1253	2,00	4,00	3,00
17	T - 2	1253	2,00	4,00	3,00
18	T - 3	1253	2,00	4,00	3,00
19	T - 4	1253	2,00	4,00	3,00
20	T - 5	1253	2,00	4,00	3,00
21	T - 6	1253	2,00	4,00	3,00
22	T - 7	1253	2,00	4,00	3,00
23	T - 8	1253	2,00	4,00	3,00
24	T - 9	1253	2,00	4,00	3,00
25	T - 10	1253	2,00	4,00	3,00
26	T - 11	1253	2,00	4,00	3,00
27	T - 12	1253	2,00	4,00	3,00
15	T - 13	1253	2,00	4,00	3,00
28	T - 14	1253	2,00	4,00	3,00
29	T - 15	1253	2,00	4,00	3,00
30	T - 16	1253	2,00	4,00	3,00
31	T - 17	1253	2,00	4,00	3,00
32	T - 18	1253	2,00	4,00	3,00
33	T - 19	1253	2,00	4,00	3,00
34	T - 20	1253	2,00	4,00	3,00
35	T - 21	1253	2,00	4,00	3,00
36	T - 22	1253	2,00	4,00	3,00
37	T - 23	1253	2,00	4,00	3,00
38	T - 24	1253	2,00	4,00	3,00
39	T - 25	1253	2,00	4,00	3,00
40	T - 26	1253	2,00	4,00	3,00
41	T - 27	1253	2,00	4,00	3,00
42	T - 28	1253	2,00	4,00	3,00
43	T - 29	1253	2,00	4,00	3,00
44	T - 30	1253	2,00	4,00	3,00
45 - RAP	T - 31	1253	2,00	4,00	3,00

Tabela E-4 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-2 – Suscetibilidade da População.

Nó i	Nó j	Trecho k	População abastecida (hab)	Pontuação População	Vulnerabilidade Social	SUSCETIBILIDADE
2	1	T - 1	372	1	4	2,50
4	2	T - 2	372	1	4	2,50
4	3	T - 3	372	1	4	2,50
6	4	T - 4	372	1	4	2,50
6	5	T - 5	372	1	4	2,50
8	6	T - 6	372	1	4	2,50
8	7	T - 7	372	1	4	2,50
10	8	T - 8	372	1	4	2,50
10	9	T - 9	372	1	4	2,50
12	10	T - 10	372	1	4	2,50
12	11	T - 11	372	1	4	2,50
14	12	T - 12	372	1	4	2,50
14	13	T - 13	372	1	4	2,50
15	14	T - 14	372	1	4	2,50

ADENDO F – APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA - RESULTADOS

2º nível - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO SEGUNDO NÍVEL

	Perigos e Eventos	Vulnerabilidade	Suscetibilidade
Perigos e Eventos	1	1/3	1/2
Vulnerabilidade	3	1	2
Suscetibilidade	2	1/2	1

Normalizando essa matriz, segundo a formula (3.9), tem-se:

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{i,j}} \quad j = 1, 2, 3 \dots n$$

	Perigos e Eventos	Vulnerabilidade	Suscetibilidade
Perigos e Eventos	1	1/3	1/2
Vulnerabilidade	3	1	2
Suscetibilidade	2	1/2	1
TOTAL	6	1 5/6	3 1/2

	Perigos e Eventos	Vulnerabilidade	Suscetibilidade
Perigos e Eventos	1/6	2/11	1/7
Vulnerabilidade	1/2	6/11	4/7
Suscetibilidade	1/3	3/11	2/7

Perigos e Eventos Perigosos	9/55	ou	0,1638
Vulnerabilidade	7/13	ou	0,5390
Suscetibilidade	11/37	ou	0,2973

$$A_w = \lambda_{\max} \cdot w$$

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 2 \\ 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,1638 \\ 0,5390 \\ 0,2973 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4921 \\ 1,6248 \\ 0,8943 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i}$$

$$\lambda_{\max} = 3,009208667$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

$$IC = 0,0046 \quad \text{para } n=3 - IR = 0,58$$

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

$$RC = 0,0079 \quad \text{ok! } RC < 0,10$$

Portanto, a inconsistência dos juízos emitidos pelo decisor é aceitável

3º nível - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS SUB-CRITÉRIOS DO CRITÉRIO PERIGOS E EVENTOS PERIGOSOS

	Fonte de perigos	ambientes perigosos
Fonte de perigos	1	2
ambientes perigosos	1/2	1

Normalizando essa matriz, segundo a formula (3.9), tem-se:

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \quad j = 1,2,3...n$$

	Fonte de perigos	ambientes perigosos
Fonte de perigos	1	2
ambientes perigosos	1/2	1
TOTAL	1 1/2	3

	Fonte de perigos	ambientes perigosos
Fonte de perigos	2/3	2/3
ambientes perigosos	1/3	1/3

Fonte de perigos	2/3	ou	0,6667
ambientes perigosos	1/3	ou	0,3333

3º nível - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO SEGUNDO NÍVEL - VULNERABILIDADE

	Vulnerabilidade Física	Vulnerabilidade Hidráulica	Vulnerabilidade da qualidade da água
Vulnerabilidade Física	1	1/2	1/3
Vulnerabilidade Hidráulica	2	1	1/2
Vulnerabilidade da qualidade	3	2	1

Normalizando essa matriz, segundo a formula (3.9), tem-se:

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \quad j = 1,2,3...n$$

	Vulnerabilidade Física	Vulnerabilidade Hidráulica	Vulnerabilidade da qualidade da água
Vulnerabilidade Física	1	1/2	1/3
Vulnerabilidade Hidráulica	2	1	1/2
Vulnerabilidade da qualidade	3	2	1
TOTAL	6	3 1/2	1 5/6

	Vulnerabilidade Física	Vulnerabilidade Hidráulica	Vulnerabilidade da qualidade da água
Vulnerabilidade Física	1/6	1/7	2/11
Vulnerabilidade Hidráulica	1/3	2/7	3/11
Vulnerabilidade da qualidade	1/2	4/7	6/11

Vulnerabilidade Física 9/55 ou 0,1638

Vulnerabilidade Hidráulica 11/37 ou 0,2973

Vulnerabilidade da qualidade da água 7/13 ou 0,5390

1,0000

$$A_w = \lambda_{\max} \cdot w$$

$$A_w = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 \\ 2 & 1 & 1/2 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,1638 \\ 0,2973 \\ 0,5390 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4921 \\ 0,8943 \\ 1,6248 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i}$$

$$\lambda_{\max} = 3,0092$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

$$IC = 0,0046 \quad \text{para } n=3 - IR = 0,58$$

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

$$RC = 0,0079 \quad \text{ok! } RC < 0,10$$

Portanto, a inconsistência dos juízos emitidos pelo decisor é aceitável

4º nível - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS SUB-CRITÉRIOS DO CRITÉRIO AMBIENTE PERIGOSOS

	Áreas baixas	Corrosão externa
Áreas baixas	1	4
Corrosão externa	1/4	1

Normalizando essa matriz, segundo a fórmula (3.9), tem-se:

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{i,j}} \quad j = 1, 2, 3 \dots n$$

	Áreas baixas	Corrosão externa
Áreas baixas	1	4
Corrosão externa	1/4	1
TOTAL	1 1/4	5

	Áreas baixas	Corrosão externa
Áreas baixas	4/5	4/5
Corrosão externa	1/5	1/5

Áreas baixas	4/5	ou	0,8000
Corrosão externa	1/5	ou	0,2000

4º nível - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO QUARTO NÍVEL - Vulnerabilidade FÍSICA

	Comprimento da tubulação	Diâmetro da tubulação	Material da tubulação	Idade da tubulação
Comprimento da tubulação	1	1/4	1/8	1/6
Diâmetro da tubulação	4	1	1/6	1/4
Material da tubulação	8	6	1	2
Idade da tubulação	6	4	1/2	1

Normalizando essa matriz, segundo a formula (3.9), tem-se:

$$\bar{v}_i(A_{ij}) = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{i,j}} \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

	Comprimento da tubulação	Diâmetro da tubulação	Material da tubulação	Idade da tubulação
Comprimento da tubulação	1	1/4	1/8	1/6
Diâmetro da tubulação	4	1	1/6	1/4
Material da tubulação	8	6	1	2
Idade da tubulação	6	4	1/2	1
TOTAL	19	11 1/4	1 19/24	3 5/12

	Perigos e Eventos	Vulnerabilidade	Suscetibilidade	Suscetibilidade
Comprimento da tubulação	1/19	1/45	3/43	2/41
Diâmetro da tubulação	4/19	4/45	4/43	3/41
Material da tubulação	8/19	8/15	24/43	24/41
Idade da tubulação	6/19	16/45	12/43	12/41

Comprimento da tubulação	3/62	ou	0,0484
Diâmetro da tubulação	5/43	ou	0,1164
Material da tubulação	43/82	ou	0,5245
Idade da tubulação	23/74	ou	0,3108
			1,0000

$$A_w = \lambda_{\max} \cdot w$$

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/8 & 1/6 \\ 4 & 1 & 1/6 & 1/4 \\ 8 & 6 & 1 & 2 \\ 6 & 4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,0484 \\ 0,1164 \\ 0,5245 \\ 0,3108 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1948 \\ 0,4749 \\ 2,2312 \\ 1,3287 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \left[\frac{Aw_i}{w_i} \right]$$

$$\lambda_{\max} = 4,1597$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

$$IC = 0,0532 \quad \text{para } n=4 \quad - \quad IR = 0,90$$

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

$$RC = 0,0591 \quad \text{ok! } RC < 0,10$$

$$A_w = \lambda_{\max} w$$

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/6 \\ 3 & 1 & 1/4 \\ 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,0934 \\ 0,2213 \\ 0,6853 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2814 \\ 0,6728 \\ 2,1309 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \frac{[Aw]_i}{w_i}$$

$$\lambda_{\max} = 3,0541$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

$$IC = 0,0271 \quad \text{para } n=3 - IR = 0,58$$

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

$$RC = 0,0467 \quad \text{ok! } RC < 0,10$$

Portanto, a inconsistência dos juízos emitidos pelo decisor é aceitável

4º nível - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO QUARTO NÍVEL - VULN. QUALIDADE DA ÁGUA

	Residual de cloro	E. coli	Turbidez
Residual de cloro	1	1/2	4
E. coli	2	1	4
Turbidez	1/4	1/4	1

Normalizando essa matriz, segundo a formula (3.9), tem-se:

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \quad j = 1,2,3 \dots n$$

	Residual de cloro	E. coli	Turbidez
Residual de cloro	1	1/2	4
E. coli	2	1	4
Turbidez	1/4	1/4	1
TOTAL	3 1/4	1 3/4	9

	Residual de cloro	E. coli	Turbidez
Residual de cloro	4/13	2/7	4/9
E. coli	8/13	4/7	4/9
Turbidez	1/13	1/7	1/9

Residual de cloro	9/26	ou	0,3460
E. coli	31/57	ou	0,5438
Turbidez	1/9	ou	0,1103

$$A_w = \lambda_{\max} \cdot w$$

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 4 \\ 2 & 1 & 4 \\ 1/4 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,3460 \\ 0,5438 \\ 0,1103 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,0590 \\ 1,6768 \\ 0,3327 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \frac{[Aw]_i}{w_i}$$

$$\lambda_{\max} = 3,0539$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

$$IC = 0,0269 \quad \text{para } n=4 \quad - \quad IR \ 0,90$$

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

$$RC = 0,0299 \quad \text{ok! } RC < 0,10$$

Portanto, a inconsistência dos juízos emitidos pelo decisor é aceitável

5º nível - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO QUARTO NÍVEL - MATERIAL DA TUBULAÇÃO

	Falhas nas tubulações	Rugosidade dos tubos	Formação de biofilme	Consumo de cloro
Falhas nas tubulações	1	2	1/2	1/4
Rugosidade dos tubos	1/2	1	1/6	1/8
Formação de biofilme	2	6	1	1/4
Consumo de cloro	4	8	4	1

Normalizando essa matriz, segundo a formula (3.9), tem-se:

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

	Falhas nas tubulações	Rugosidade dos tubos	Formação de biofilme	Consumo de cloro
Falhas nas tubulações	1	2	1/2	1/4
Rugosidade dos tubos	1/2	1	1/6	1/8
Formação de biofilme	2	6	1	1/4
Consumo de cloro	4	8	4	1
TOTAL	7 1/2	17	5 2/3	1 5/8

	Falhas nas tubulações	Rugosidade dos tubos	Formação de biofilme	Consumo de cloro
Falhas nas tubulações	2/15	2/17	3/34	2/13
Rugosidade dos tubos	1/15	1/17	1/34	1/13
Formação de biofilme	4/15	6/17	3/17	2/13
Consumo de cloro	8/15	8/17	12/17	8/13

Falhas nas tubulações	9/73	ou	0,1233
Rugosidade dos tubos	4/69	ou	0,0580
Formação de biofilme	19/80	ou	0,2375
Consumo de cloro	25/43	ou	0,5813
			1,0000

$$A_w = \lambda_{\max} \cdot w$$

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/2 & 1/4 \\ 1/2 & 1 & 1/6 & 1/8 \\ 2 & 6 & 1 & 1/4 \\ 4 & 8 & 4 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,1233 \\ 0,0580 \\ 0,2375 \\ 0,5813 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5032 \\ 0,2318 \\ 0,9771 \\ 2,4879 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \frac{[Aw]_i}{w_i}$$

$$\lambda_{\max} = 4,1192$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

$$IC = 0,039749448 \quad \text{para } n=4 \quad - \quad IR = 0,90$$

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

$$RC = 0,044166053 \quad \text{ok! } RC < 0,10$$

Portanto, a inconsistência dos juízos emitidos pelo decisor é aceitável

ADENDO G – RESUMO DAS MATRIZES DE RISCO

**Tabela G-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 –
Resumo.**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
2	1	T - 1	1,00	2,00	3,00	2,13
4	2	T - 2	1,00	1,99	3,00	2,13
4	3	T - 3	1,00	2,03	3,00	2,15
6	4	T - 4	1,00	2,02	3,00	2,14
6	5	T - 5	1,00	2,08	3,00	2,18
8	6	T - 6	1,00	1,99	3,00	2,13
8	7	T - 7	1,00	2,06	3,00	2,16
10	8	T - 8	1,00	1,97	3,00	2,12
10	9	T - 9	1,00	2,08	3,00	2,17
12	10	T - 10	1,00	1,97	3,00	2,12
12	11	T - 11	1,00	2,02	3,00	2,14
14	12	T - 12	1,00	1,97	3,00	2,12
14	13	T - 13	1,00	1,99	3,00	2,13
16	14	T - 14	1,00	1,97	3,00	2,12
16	15	T - 15	1,00	1,99	3,00	2,13
18	16	T - 16	1,00	1,97	3,00	2,12
18	17	T - 17	1,00	2,02	3,00	2,14
20	18	T - 18	1,00	1,97	3,00	2,12
20	19	T - 19	1,00	1,99	3,00	2,13
21	20	T - 20	1,00	2,00	3,00	2,13
22	21	T - 21	1,00	1,97	3,00	2,12
23	22	T - 22	1,00	1,98	3,00	2,12
24	23	T - 23	1,00	1,98	3,00	2,12
24	78	T - 24	1,13	2,20	3,00	2,26
24	94	T - 25	1,13	2,22	3,00	2,27
27	25	T - 26	1,00	2,35	3,00	2,32
27	26	T - 27	1,00	2,25	3,00	2,27
27	28	T - 28	1,00	2,27	3,00	2,28
27	30	T - 29	1,00	2,27	3,00	2,28
28	29	T - 30	1,00	2,27	3,00	2,28
29	30	T - 31	1,00	2,27	3,00	2,28
29	31	T - 32	1,00	2,25	3,00	2,27
30	32	T - 33	1,00	2,04	3,00	2,16
31	32	T - 34	1,00	2,30	3,00	2,30
31	34	T - 35	1,00	2,25	3,00	2,27
32	40	T - 36	1,00	2,04	3,00	2,16
33	36	T - 37	1,00	2,27	3,00	2,28
33	34	T - 38	1,00	2,25	3,00	2,27
34	39	T - 39	1,00	2,27	3,00	2,28
34	35	T - 40	1,00	2,27	3,00	2,28
36	38	T - 41	1,00	2,25	3,00	2,27
37	38	T - 42	1,00	2,25	3,00	2,27
38	39	T - 43	1,00	2,04	3,00	2,16
39	40	T - 44	1,00	2,04	3,00	2,16
39	44	T - 45	1,00	2,04	3,00	2,16
40	41	T - 46	1,00	2,13	3,00	2,20
40	45	T - 47	1,00	2,17	3,00	2,23
41	42	T - 48	1,00	2,14	3,00	2,21
41	46	T - 49	1,00	2,20	3,00	2,24
42	51	T - 50	1,00	2,15	3,00	2,22
43	44	T - 51	1,00	2,17	3,00	2,23
44	45	T - 52	1,00	2,20	3,00	2,24
44	48	T - 53	1,00	2,17	3,00	2,23
45	46	T - 54	1,00	2,20	3,00	2,24
45	49	T - 55	1,00	2,17	3,00	2,23
46	50	T - 56	1,00	2,17	3,00	2,23
47	48	T - 57	1,00	2,14	3,00	2,21
48	49	T - 58	1,00	2,23	3,00	2,26
48	54	T - 59	1,00	2,17	3,00	2,23
49	50	T - 60	1,00	2,17	3,00	2,23

**Tabela G-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 –
Resumo (continuação).**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
49	55	T - 61	1,13	2,46	3,00	2,40
50	51	T - 62	1,00	2,14	3,00	2,21
51	57	T - 63	1,00	2,02	3,00	2,15
52	53	T - 64	1,53	2,38	3,00	2,43
53	54	T - 65	1,53	2,44	3,00	2,46
53	84	T - 66	1,53	2,37	3,00	2,42
54	55	T - 67	1,00	2,13	3,00	2,20
54	61	T - 68	1,13	2,35	3,00	2,34
55	56	T - 69	1,00	2,15	3,00	2,22
55	63	T - 70	1,00	2,36	3,00	2,33
56	50	T - 71	1,00	2,17	3,00	2,23
56	57	T - 72	1,00	2,02	3,00	2,15
56	64	T - 73	1,00	2,18	3,00	2,23
57	58	T - 74	1,00	2,02	3,00	2,15
57	65	T - 75	1,00	2,03	3,00	2,15
58	59	T - 76	1,13	2,40	3,00	2,37
58	66	T - 77	1,00	2,18	3,00	2,23
60	61	T - 78	1,00	2,05	3,00	2,16
61	62	T - 79	1,13	2,61	3,00	2,48
62	63	T - 80	1,13	2,54	3,00	2,45
62	75	T - 81	1,13	2,58	3,00	2,47
63	64	T - 82	1,13	2,54	3,00	2,45
63	76	T - 83	1,13	2,54	3,00	2,45
64	65	T - 84	1,13	2,34	3,00	2,34
64	77	T - 85	1,00	2,17	3,00	2,23
65	66	T - 86	1,00	2,14	3,00	2,21
65	78	T - 87	1,00	2,02	3,00	2,15
66	67	T - 88	1,00	2,10	3,00	2,18
67	82	T - 89	1,00	2,05	3,00	2,16
68	67	T - 90	1,00	2,04	3,00	2,16
69	80	T - 91	1,00	2,10	3,00	2,19
69	70	T - 92	1,13	2,40	3,00	2,37
70	72	T - 93	1,00	2,17	3,00	2,23
71	70	T - 94	1,13	2,41	3,00	2,38
73	74	T - 95	1,13	2,40	3,00	2,37
74	75	T - 96	1,13	2,54	3,00	2,45
75	76	T - 97	1,13	2,53	3,00	2,44
76	77	T - 98	1,13	2,32	3,00	2,33
76	88	T - 99	1,13	2,30	3,00	2,32
77	78	T - 100	1,13	2,25	3,00	2,29
77	89	T - 101	1,13	2,34	3,00	2,34
78	79	T - 102	1,13	2,32	3,00	2,33
79	80	T - 103	1,13	2,38	3,00	2,36
79	83	T - 104	1,00	2,20	3,00	2,24
80	81	T - 105	1,13	2,32	3,00	2,33
80	91	T - 106	1,13	2,34	3,00	2,34
81	92	T - 107	1,13	2,37	3,00	2,35
81	82	T - 108	1,13	2,32	3,00	2,33
82	93	T - 109	1,13	2,38	3,00	2,36
84	107	T - 110	1,00	2,30	3,00	2,30
84	86	T - 111	1,00	2,26	3,00	2,28
85	86	T - 112	1,13	2,43	3,00	2,39
86	88	T - 113	1,13	2,34	3,00	2,34
87	86	T - 114	1,13	2,43	3,00	2,39
88	89	T - 115	1,13	2,40	3,00	2,37
88	101	T - 116	1,13	2,38	3,00	2,36
89	90	T - 117	1,13	2,37	3,00	2,35
89	100	T - 118	1,13	2,37	3,00	2,35
90	99	T - 119	1,13	2,34	3,00	2,34
90	91	T - 120	1,13	2,40	3,00	2,37

**Tabela G-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 –
Resumo (continuação).**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
91	92	T - 121	1,13	2,42	3,00	2,38
91	98	T - 122	1,13	2,37	3,00	2,35
92	93	T - 123	1,13	2,34	3,00	2,34
92	97	T - 124	1,13	2,40	3,00	2,37
93	96	T - 125	1,13	2,35	3,00	2,34
94	95	T - 126	1,13	2,20	3,00	2,26
95	139	T - 127	1,13	2,20	3,00	2,26
96	106	T - 128	1,13	2,32	3,00	2,33
96	97	T - 129	1,13	2,34	3,00	2,34
97	98	T - 130	1,13	2,37	3,00	2,35
97	123	T - 131	1,00	2,17	3,00	2,23
98	99	T - 132	1,13	2,34	3,00	2,34
98	121	T - 133	1,13	2,40	3,00	2,37
99	100	T - 134	1,13	2,34	3,00	2,34
99	120	T - 135	1,13	2,34	3,00	2,34
100	101	T - 136	1,13	2,40	3,00	2,37
100	119	T - 137	1,13	2,34	3,00	2,34
101	102	T - 138	1,13	2,34	3,00	2,34
101	118	T - 139	1,13	2,32	3,00	2,33
102	103	T - 140	1,00	2,20	3,00	2,24
102	104	T - 141	1,00	2,20	3,00	2,24
104	105	T - 143	1,00	2,14	3,00	2,21
106	266	T - 144	1,13	2,72	3,00	2,54
106	123	T - 145	1,13	2,32	3,00	2,33
106	140	T - 146	1,13	2,32	3,00	2,33
106	139	T - 147	1,13	2,22	3,00	2,27
107	108	T - 148	1,00	2,50	3,00	2,40
107	112	T - 149	1,00	2,09	3,00	2,18
108	109	T - 150	1,00	2,51	3,00	2,41
109	110	T - 151	1,00	2,09	3,00	2,18
110	111	T - 152	1,00	2,11	3,00	2,19
111	112	T - 153	1,00	2,10	3,00	2,19
113	112	T - 154	1,00	2,08	3,00	2,18
113	115	T - 155	1,00	2,29	3,00	2,29
114	115	T - 156	1,00	2,36	3,00	2,33
115	116	T - 157	1,00	2,39	3,00	2,34
116	117	T - 158	1,00	2,07	3,00	2,17
117	118	T - 159	1,00	2,07	3,00	2,17
118	124	T - 160	1,00	2,07	3,00	2,17
118	119	T - 161	1,13	2,35	3,00	2,34
118	131	T - 162	1,00	2,17	3,00	2,23
119	120	T - 163	1,13	2,32	3,00	2,33
119	132	T - 164	1,13	2,46	3,00	2,40
120	121	T - 165	1,13	2,35	3,00	2,34
121	123	T - 166	1,13	2,38	3,00	2,36
121	135	T - 167	1,13	2,34	3,00	2,34
122	123	T - 168	1,00	2,14	3,00	2,21
124	129	T - 169	1,00	2,28	3,00	2,28
125	126	T - 170	1,00	2,35	3,00	2,32
126	128	T - 171	1,00	2,33	3,00	2,31
126	144	T - 172	1,00	2,30	3,00	2,29
127	128	T - 173	1,00	2,30	3,00	2,29
128	129	T - 174	1,00	2,38	3,00	2,34
128	145	T - 175	1,00	2,30	3,00	2,29
129	130	T - 176	1,00	2,33	3,00	2,31
131	149	T - 177	1,00	2,07	3,00	2,17
131	132	T - 178	1,00	2,17	3,00	2,23
132	134	T - 179	1,13	2,35	3,00	2,34
132	150	T - 180	1,00	2,17	3,00	2,23

**Tabela G-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 –
Resumo (continuação).**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
133	134	T - 181	1,13	2,43	3,00	2,39
134	135	T - 182	1,13	2,35	3,00	2,34
134	151	T - 183	1,13	2,40	3,00	2,37
135	152	T - 184	1,13	2,43	3,00	2,39
136	137	T - 185	1,13	2,43	3,00	2,39
137	138	T - 186	1,13	2,40	3,00	2,37
137	153	T - 187	1,00	2,14	3,00	2,21
138	140	T - 188	1,13	2,32	3,00	2,33
138	154	T - 189	1,13	2,35	3,00	2,34
140	141	T - 190	1,13	2,34	3,00	2,34
143	144	T - 192	1,00	2,30	3,00	2,29
144	146	T - 193	2,33	2,33	3,00	2,53
146	155	T - 194	2,33	2,30	3,00	2,51
146	147	T - 195	1,00	2,33	3,00	2,31
147	148	T - 196	1,00	2,38	3,00	2,34
147	156	T - 197	1,00	2,30	3,00	2,29
147	129	T - 198	1,00	2,33	3,00	2,31
148	149	T - 199	1,00	2,09	3,00	2,18
148	118	T - 200	1,00	2,08	3,00	2,18
148	157	T - 201	1,00	2,07	3,00	2,17
149	150	T - 202	1,00	2,17	3,00	2,23
150	151	T - 203	1,13	2,43	3,00	2,39
150	158	T - 204	1,00	2,20	3,00	2,24
151	152	T - 205	1,13	2,40	3,00	2,37
151	160	T - 206	1,13	2,40	3,00	2,37
152	153	T - 207	1,13	2,40	3,00	2,37
152	161	T - 208	1,13	2,34	3,00	2,34
153	154	T - 209	1,13	2,43	3,00	2,39
153	162	T - 210	1,13	2,34	3,00	2,34
154	163	T - 211	1,13	2,35	3,00	2,34
156	157	T - 212	1,00	2,33	3,00	2,31
157	158	T - 213	1,00	2,18	3,00	2,23
157	165	T - 214	1,00	2,07	3,00	2,17
158	166	T - 215	1,00	2,12	3,00	2,20
159	160	T - 216	1,00	2,10	3,00	2,19
159	167	T - 217	3,00	2,04	3,00	2,48
160	161	T - 218	1,13	2,40	3,00	2,37
160	169	T - 219	1,00	2,04	3,00	2,16
161	185	T - 220	1,00	2,08	3,00	2,18
161	162	T - 221	1,13	2,34	3,00	2,34
162	163	T - 222	1,13	2,37	3,00	2,35
162	187	T - 223	1,00	2,04	3,00	2,16
163	188	T - 224	1,13	2,76	3,00	2,56
164	165	T - 225	1,00	2,35	3,00	2,32
164	171	T - 226	1,00	2,33	3,00	2,31
165	166	T - 227	3,00	2,12	3,00	2,53
167	168	T - 228	3,00	2,04	3,00	2,48
167	169	T - 229	3,00	2,04	3,00	2,48
168	170	T - 230	3,00	2,07	3,00	2,50
168	173	T - 231	3,00	2,04	3,00	2,48
169	170	T - 232	1,00	2,04	3,00	2,16
170	175	T - 233	1,00	2,04	3,00	2,16
171	172	T - 234	3,00	2,36	3,00	2,66
172	177	T - 235	1,00	2,09	3,00	2,18
173	174	T - 236	3,00	2,04	3,00	2,48
173	175	T - 237	3,00	2,04	3,00	2,48
174	176	T - 238	3,00	2,08	3,00	2,50
174	181	T - 239	3,00	2,04	3,00	2,48
175	176	T - 240	1,00	2,04	3,00	2,16

**Tabela G-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 –
Resumo (continuação).**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
176	183	T - 241	1,00	2,04	3,00	2,16
177	178	T - 242	3,00	2,35	3,00	2,65
177	180	T - 243	1,00	2,09	3,00	2,18
177	182	T - 244	1,00	2,04	3,00	2,16
178	179	T - 245	1,00	2,35	3,00	2,32
179	180	T - 246	3,00	2,30	3,00	2,62
181	182	T - 247	3,00	2,04	3,00	2,48
181	183	T - 248	3,00	2,08	3,00	2,50
182	184	T - 249	3,00	2,08	3,00	2,50
183	184	T - 250	1,00	2,04	3,00	2,16
184	186	T - 251	1,00	2,04	3,00	2,16
185	186	T - 252	1,00	2,04	3,00	2,16
185	187	T - 253	1,00	2,04	3,00	2,16
186	187	T - 254	1,00	2,04	3,00	2,16
187	188	T - 255	1,13	2,84	3,00	2,61
188	190	T - 256	1,13	2,73	3,00	2,55
189	186	T - 257	1,00	2,09	3,00	2,18
189	190	T - 258	1,00	2,09	3,00	2,18
189	191	T - 259	1,00	2,07	3,00	2,17
189	192	T - 260	1,00	2,04	3,00	2,16
190	210	T - 261	1,13	2,32	3,00	2,33
192	199	T - 262	1,00	2,04	3,00	2,16
192	193	T - 263	1,00	2,08	3,00	2,18
193	194	T - 264	3,00	2,04	3,00	2,48
194	195	T - 265	1,00	2,10	3,00	2,19
194	197	T - 266	3,00	2,25	3,00	2,60
195	196	T - 267	3,00	2,07	3,00	2,50
196	197	T - 268	1,00	2,27	3,00	2,28
197	198	T - 269	1,00	2,25	3,00	2,27
198	199	T - 270	3,00	2,28	3,00	2,61
198	202	T - 271	3,00	2,25	3,00	2,59
199	200	T - 272	1,00	2,07	3,00	2,17
200	202	T - 273	3,00	2,31	3,00	2,63
201	209	T - 274	1,00	2,05	3,00	2,16
201	216	T - 275	1,00	2,07	3,00	2,17
201	227	T - 276	3,00	2,18	3,00	2,56
202	203	T - 277	3,00	2,25	3,00	2,59
203	204	T - 278	3,00	2,31	3,00	2,63
203	206	T - 279	3,00	2,25	3,00	2,59
204	205	T - 280	1,00	2,04	3,00	2,16
205	206	T - 281	3,00	2,08	3,00	2,50
205	208	T - 282	1,00	2,25	3,00	2,27
206	207	T - 283	3,00	2,25	3,00	2,59
207	208	T - 284	3,00	2,28	3,00	2,61
207	212	T - 285	3,00	2,25	3,00	2,59
208	211	T - 286	1,00	2,04	3,00	2,16
208	209	T - 287	1,00	2,07	3,00	2,17
209	210	T - 288	1,13	2,73	3,00	2,55
210	228	T - 289	1,00	2,53	3,00	2,42
211	212	T - 290	3,00	2,28	3,00	2,61
213	214	T - 291	3,00	2,25	3,00	2,59
213	215	T - 292	3,00	2,31	3,00	2,63
214	216	T - 293	3,00	2,28	3,00	2,61
215	216	T - 294	1,00	2,04	3,00	2,16
216	218	T - 295	1,00	2,04	3,00	2,16
217	227	T - 296	1,00	2,08	3,00	2,18
217	231	T - 297	1,00	2,07	3,00	2,17
217	236	T - 298	1,00	2,11	3,00	2,19
217	230	T - 299	1,00	2,10	3,00	2,19
218	219	T - 300	3,00	2,04	3,00	2,48

**Tabela G-1 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-1 –
Resumo (continuação).**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
218	224	T - 301	3,00	2,08	3,00	2,50
219	220	T - 302	3,00	2,25	3,00	2,60
219	226	T - 303	1,00	2,04	3,00	2,16
220	221	T - 304	3,00	2,25	3,00	2,59
221	222	T - 305	3,00	2,25	3,00	2,59
221	226	T - 306	3,00	2,25	3,00	2,59
222	223	T - 307	3,00	2,25	3,00	2,59
222	225	T - 308	3,00	2,25	3,00	2,59
223	224	T - 309	3,00	2,04	3,00	2,48
223	225	T - 310	1,00	2,04	3,00	2,16
225	226	T - 311	1,00	2,04	3,00	2,16
227	229	T - 312	1,00	2,15	3,00	2,21
228	233	T - 313	1,00	2,15	3,00	2,21
228	229	T - 314	1,00	2,13	3,00	2,20
229	230	T - 315	1,00	2,07	3,00	2,17
229	234	T - 316	1,00	2,09	3,00	2,18
230	235	T - 317	1,00	2,12	3,00	2,20
231	232	T - 318	1,00	2,15	3,00	2,21
231	246	T - 319	1,00	2,20	3,00	2,24
232	247	T - 320	1,00	2,20	3,00	2,24
233	234	T - 321	1,00	2,12	3,00	2,20
233	237	T - 322	1,00	2,15	3,00	2,21
234	235	T - 323	1,00	2,12	3,00	2,20
234	238	T - 324	1,00	2,09	3,00	2,18
235	236	T - 325	1,00	2,12	3,00	2,20
236	239	T - 326	1,00	2,07	3,00	2,17
237	238	T - 327	1,00	2,12	3,00	2,20
237	240	T - 328	1,00	2,09	3,00	2,18
238	239	T - 329	1,00	2,09	3,00	2,18
239	241	T - 330	1,00	2,10	3,00	2,19
240	241	T - 331	1,00	2,15	3,00	2,21
240	242	T - 332	1,00	2,15	3,00	2,21
241	243	T - 333	1,00	2,07	3,00	2,17
242	243	T - 334	1,00	2,09	3,00	2,18
242	244	T - 335	1,00	2,09	3,00	2,18
243	244	T - 336	1,00	2,13	3,00	2,20
244	245	T - 337	1,00	2,07	3,00	2,17
245	246	T - 338	1,00	2,07	3,00	2,17
245	266	T - 339	1,13	2,71	3,00	2,54
246	247	T - 340	1,00	2,10	3,00	2,19
246	249	T - 341	1,00	2,03	3,00	2,15
246	251	T - 342	1,00	1,98	3,00	2,12
247	248	T - 343	1,00	2,13	3,00	2,20
249	250	T - 344	1,00	2,13	3,00	2,21
249	263	T - 345	1,00	2,15	3,00	2,21
251	252	T - 346	1,00	2,02	3,00	2,14
251	264	T - 347	1,00	2,03	3,00	2,15
251	257	T - 348	1,00	1,99	3,00	2,13
253	264	T - 349	1,00	2,03	3,00	2,15
253	254	T - 350	1,00	1,99	3,00	2,13
253	258	T - 351	1,00	1,99	3,00	2,13
254	255	T - 352	1,00	2,00	3,00	2,13
256	257	T - 353	1,00	2,06	3,00	2,16
257	260	T - 354	1,00	1,97	3,00	2,12
257	265	T - 355	1,00	2,03	3,00	2,15
258	265	T - 356	1,00	2,06	3,00	2,16
258	259	T - 357	1,00	1,99	3,00	2,13
259	260	T - 358	1,00	2,09	3,00	2,18
260	261	T - 359	1,00	2,00	3,00	2,13
266	267-RAE	T - 360	1,13	2,70	3,00	2,53

**Tabela G-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 –
Resumo.**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
1	3	T - 1	1,00	1,83	3,50	2,19
2	3	T - 2	1,00	1,59	3,50	2,06
3	6	T - 3	1,00	1,59	3,50	2,06
4	6	T - 4	1,13	2,05	3,50	2,33
5	6	T - 5	1,00	1,59	3,50	2,06
6	8	T - 6	1,00	1,62	3,50	2,08
7	8	T - 7	1,13	2,02	3,50	2,32
8	9	T - 8	1,13	1,82	3,50	2,21
10	9	T - 9	1,13	1,88	3,50	2,24
9	11	T - 10	1,00	1,59	3,50	2,06
12	13	T - 11	1,13	1,99	3,50	2,30
13	8	T - 12	1,13	1,82	3,50	2,21
13	14	T - 13	1,13	2,02	3,50	2,32
14	9	T - 14	1,13	2,08	3,50	2,35
14	15	T - 15	1,13	2,05	3,50	2,33
15	100	T - 16	1,00	1,57	3,50	2,05
16	17	T - 17	1,13	2,03	3,50	2,32
17	13	T - 18	1,00	1,59	3,50	2,06
17	18	T - 19	1,13	1,80	3,50	2,20
18	19	T - 20	1,13	1,77	3,50	2,18
18	14	T - 21	1,13	2,08	3,50	2,35
19	15	T - 22	1,13	1,77	3,50	2,18
20	21	T - 23	1,13	2,03	3,50	2,32
21	17	T - 24	1,13	1,77	3,50	2,18
22	21	T - 25	1,13	1,80	3,50	2,20
22	18	T - 26	1,13	1,85	3,50	2,23
23	19	T - 27	1,13	1,85	3,50	2,23
23	22	T - 28	1,13	1,83	3,50	2,21
24	25	T - 29	1,13	1,80	3,50	2,20
25	21	T - 30	1,13	1,77	3,50	2,18
26	22	T - 31	1,13	1,77	3,50	2,18
26	25	T - 32	1,13	1,83	3,50	2,21
26	27	T - 33	1,13	1,80	3,50	2,20
27	23	T - 34	1,13	1,83	3,50	2,21
28	29	T - 35	1,13	1,80	3,50	2,20
29	30	T - 36	1,00	1,54	3,50	2,04
29	25	T - 37	1,13	1,77	3,50	2,18
30	31	T - 38	1,00	1,57	3,50	2,05
31	32	T - 39	1,00	1,60	3,50	2,07
33	34	T - 40	1,00	1,80	3,50	2,18
34	29	T - 41	1,00	1,54	3,50	2,04
35	34	T - 42	1,00	1,60	3,50	2,07
36	34	T - 43	1,00	1,57	3,50	2,05
36	30	T - 44	1,00	1,61	3,50	2,07
37	36	T - 45	1,00	1,57	3,50	2,05
38	31	T - 46	1,00	1,55	3,50	2,04
38	36	T - 47	1,00	1,57	3,50	2,05
38	40	T - 48	1,00	1,57	3,50	2,05
39	40	T - 49	1,00	1,60	3,50	2,07
41	40	T - 50	1,00	1,54	3,50	2,04
41	42	T - 51	1,00	1,60	3,50	2,07
43	42	T - 52	1,00	1,57	3,50	2,05
44	41	T - 53	1,00	1,57	3,50	2,05
44	45	T - 54	1,00	1,54	3,50	2,04

**Tabela G-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 –
Resumo (continuação).**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
44	47	T - 55	1,00	1,57	3,50	2,05
45	46	T - 56	1,00	1,54	3,50	2,04
45	48	T - 57	1,00	1,60	3,50	2,07
46	49	T - 58	1,00	1,63	3,50	2,08
47	48	T - 59	1,00	1,57	3,50	2,05
47	80	T - 60	1,00	1,57	3,50	2,05
48	64	T - 61	1,00	1,57	3,50	2,05
49	50	T - 62	1,00	1,61	3,50	2,07
49	52	T - 63	1,00	1,54	3,50	2,04
50	51	T - 64	1,00	1,54	3,50	2,04
51	52	T - 65	1,00	1,61	3,50	2,07
50	53	T - 66	1,00	1,54	3,50	2,04
53	54	T - 67	1,00	1,47	3,50	2,00
53	64	T - 68	1,00	1,56	3,50	2,04
53	63	T - 69	1,00	1,57	3,50	2,05
54	55	T - 70	1,00	1,47	3,50	2,00
55	56	T - 71	1,00	1,47	3,50	2,00
56	57	T - 72	1,00	1,55	3,50	2,04
56	60	T - 73	1,00	1,49	3,50	2,01
57	58	T - 74	1,00	1,75	3,50	2,15
57	59	T - 75	1,00	1,52	3,50	2,02
59	60	T - 76	1,00	1,52	3,50	2,02
59	61	T - 77	1,00	1,52	3,50	2,02
60	61	T - 78	1,00	1,52	3,50	2,02
61	62	T - 79	1,00	1,49	3,50	2,01
63	65	T - 80	1,00	1,58	3,50	2,05
64	65	T - 81	1,00	1,52	3,50	2,03
66	67	T - 82	1,00	1,65	3,50	2,09
67	69	T - 83	1,00	1,59	3,50	2,06
68	69	T - 84	1,00	1,62	3,50	2,08
69	71	T - 85	1,00	1,59	3,50	2,06
70	71	T - 86	1,00	1,60	3,50	2,07
71	75	T - 87	1,00	1,59	3,50	2,06
72	73	T - 88	1,00	1,56	3,50	2,04
73	74	T - 89	1,00	1,49	3,50	2,01
74	75	T - 90	1,00	1,66	3,50	2,10
75	77	T - 91	1,00	1,59	3,50	2,06
76	77	T - 92	1,00	1,65	3,50	2,09
77	78	T - 93	1,00	1,59	3,50	2,06
78	79	T - 94	1,00	1,59	3,50	2,06
78	86	T - 95	1,00	1,61	3,50	2,07
79	80	T - 96	1,00	1,59	3,50	2,06
80	65	T - 97	1,00	1,55	3,50	2,04
81	80	T - 98	1,00	1,52	3,50	2,03
81	87	T - 99	1,00	1,53	3,50	2,03
82	83	T - 100	1,00	1,59	3,50	2,06
83	84	T - 101	1,00	1,65	3,50	2,09
83	79	T - 102	1,00	1,62	3,50	2,08
83	91	T - 103	1,00	1,66	3,50	2,10
84	85	T - 104	1,00	1,59	3,50	2,06
84	32	T - 105	1,00	1,66	3,50	2,10
84	90	T - 106	1,00	1,66	3,50	2,10
85	42	T - 107	1,00	1,62	3,50	2,08

**Tabela G-2 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-1 –
Resumo (continuação).**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
85	44	T - 108	1,00	1,59	3,50	2,06
86	91	T - 109	1,00	1,60	3,50	2,07
87	90	T - 110	1,00	1,52	3,50	2,03
88	89	T - 111	1,00	1,59	3,50	2,06
89	90	T - 112	1,00	1,54	3,50	2,04
90	94	T - 113	1,00	1,52	3,50	2,03
91	92	T - 114	1,00	1,57	3,50	2,05
92	98	T - 115	1,13	1,83	3,50	2,21
92	93	T - 116	1,13	1,79	3,50	2,19
93	114	T - 117	1,13	1,79	3,50	2,19
94	115	T - 118	1,00	1,52	3,50	2,03
95	97	T - 119	1,00	1,57	3,50	2,05
96	97	T - 120	1,00	1,54	3,50	2,04
97	19	T - 121	1,00	1,54	3,50	2,04
98	97	T - 122	1,00	1,57	3,50	2,05
98	23	T - 123	1,13	1,79	3,50	2,19
99	11	T - 124	1,00	1,57	3,50	2,05
100	11	T - 125	1,00	1,54	3,50	2,04
100	104	T - 126	1,00	1,55	3,50	2,04
101	102	T - 127	1,00	1,57	3,50	2,05
102	11	T - 128	1,00	1,54	3,50	2,04
102	103	T - 129	1,00	1,54	3,50	2,04
103	104	T - 130	1,00	1,54	3,50	2,04
103	108	T - 131	1,00	1,54	3,50	2,04
104	106	T - 132	1,00	1,57	3,50	2,05
105	106	T - 133	1,00	1,54	3,50	2,04
107	106	T - 134	1,00	1,57	3,50	2,05
107	15	T - 135	1,13	1,85	3,50	2,22
108	109	T - 136	1,00	1,63	3,50	2,08
108	110	T - 137	1,00	1,54	3,50	2,04
109	107	T - 138	1,13	1,82	3,50	2,21
109	111	T - 139	1,13	1,79	3,50	2,19
110	111	T - 140	1,00	1,64	3,50	2,09
111	113	T - 141	1,13	1,79	3,50	2,19
112	113	T - 142	1,00	1,58	3,50	2,05
113	114	T - 143	1,13	1,79	3,50	2,19
114	115	T - 144	1,13	1,79	3,50	2,19
115	131	T - 145	1,13	1,79	3,50	2,19
116	118	T - 146	1,00	1,59	3,50	2,06
117	118	T - 147	1,00	1,58	3,50	2,05
118	120	T - 148	1,00	1,49	3,50	2,01
119	120	T - 149	1,00	1,55	3,50	2,04
120	122	T - 150	1,00	1,49	3,50	2,01
121	122	T - 151	1,00	1,55	3,50	2,04
122	123	T - 152	1,00	1,52	3,50	2,02
123	124	T - 153	1,00	1,52	3,50	2,02
125	126	T - 154	1,00	1,55	3,50	2,04
126	123	T - 155	1,00	1,52	3,50	2,02
127	126	T - 156	1,00	1,49	3,50	2,01
128	127	T - 157	1,00	1,55	3,50	2,04
129	130	T - 158	1,00	1,58	3,50	2,05
130	128	T - 159	1,00	1,47	3,50	2,00
131	130	T - 160	1,00	1,47	3,50	2,00
132	131	T - 161	1,13	1,79	3,50	2,19

**Tabela G-3 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona baixa-2 –
Resumo**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
17	16	T - 1	1,00	1,66	3,00	1,95
19	17	T - 2	1,00	1,56	3,00	1,73
19	18	T - 3	1,00	1,66	3,00	1,79
21	19	T - 4	1,00	1,54	3,00	1,72
21	20	T - 5	1,00	1,66	3,00	1,79
23	21	T - 6	1,00	1,54	3,00	1,72
23	22	T - 7	1,00	1,66	3,00	1,79
25	23	T - 8	1,00	1,57	3,00	1,74
25	24	T - 9	1,00	1,66	3,00	1,79
27	25	T - 10	1,00	1,54	3,00	1,72
27	26	T - 11	1,00	1,66	3,00	1,79
28	27	T - 12	1,00	1,54	3,00	1,72
28	15	T - 13	1,00	1,55	3,00	1,73
29	28	T - 14	1,67	1,72	3,00	1,82
30	29	T - 15	1,00	1,53	3,00	1,72
31	30	T - 16	1,00	1,52	3,00	1,71
32	31	T - 17	1,00	1,52	3,00	1,71
33	32	T - 18	1,00	1,32	3,00	1,60
34	33	T - 19	1,00	1,32	3,00	1,60
35	34	T - 20	1,00	1,32	3,00	1,60
36	35	T - 21	1,00	1,32	3,00	1,60
37	36	T - 22	1,00	1,32	3,00	1,77
38	37	T - 23	1,00	1,32	3,00	2,14
39	38	T - 24	1,00	1,32	3,00	1,60
40	39	T - 25	1,00	1,73	3,00	1,82
41	40	T - 26	1,00	1,73	3,00	1,82
42	41	T - 27	1,00	1,73	3,00	1,82
43	42	T - 28	1,00	1,73	3,00	1,82
44	43	T - 29	1,00	1,73	3,00	1,82
45	44	T - 30	1,00	1,73	3,00	1,82
46	45 - RAP	T - 31	1,00	1,73	3,00	1,82

**Tabela G-4 – Matriz de Risco da rede de distribuição de água da zona alta-2 –
Resumo.**

Nó i	Nó j	Trecho k	PERIGO FONTE E AMBIENTES PERIGOSOS	PERIGO VULNERABILIDADE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SUSCETIBILIDADE	RISCO TOTAL
2	1	T - 1	1,00	1,33	2,50	1,63
4	2	T - 2	1,00	1,31	2,50	1,61
4	3	T - 3	1,00	1,33	2,50	1,63
6	4	T - 4	1,00	1,33	2,50	1,63
6	5	T - 5	1,00	1,41	2,50	1,67
8	6	T - 6	1,00	1,38	2,50	1,65
8	7	T - 7	1,00	1,41	2,50	1,67
10	8	T - 8	1,00	1,37	2,50	1,64
10	9	T - 9	1,00	1,36	2,50	1,64
12	10	T - 10	1,00	1,37	2,50	1,64
12	11	T - 11	1,00	1,41	2,50	1,67
14	12	T - 12	1,00	1,34	2,50	1,63
14	13	T - 13	1,00	1,36	2,50	1,64
15	14	T - 14	1,00	1,56	2,50	1,75

**ADENDO H – MAPA DE RISCO DA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE ITATINGA**

10. ANEXO

Quadro Ax-1 - Distribuição dos países conforme regiões e sub-regiões da Organização Mundial da Saúde

Sub-região	Descrição	Grupo	Estados Membros
AFR-O	África	Alta mortalidade Em desenvolvimento	Argélia, Angola, Benin, Burkina Faso, Camarões, Cabo Verde, Comores, Guiné Equatorial, Gabão, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, Libéria, Madagascar, Mali, Mauritânia, Ilhas Maurício, Níger, Nigéria, São Tomé e Príncipe, Senegal, Ilhas Seicheles, Serra Leoa e Togo.
AFR-E	África	Alta mortalidade Em desenvolvimento	Botsuana, Burundi, República Centro Africana, Congo, Costa do Marfim, República Democrática do Congo, Eritreia, Etiópia, Quênia, Lesoto, Malawi, Moçambique, Namíbia, Ruanda, África do Sul, Suazilândia, Uganda, República Unida da Tanzânia, Zâmbia e Zimbábue.
AMR-A	Américas	Desenvolvida	Canadá, Cuba, Estados Unidos
AMR-B	América	Baixa Mortalidade Em desenvolvimento	Antígua, Argentina, Bahamas, Belize, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Republica Dominicana, El Salvador, Granada, Guiana, Honduras, Jamaica, México, Panamá, Paraguai, Santa Lúcia, São Vicente, Suriname, Trinidad e Tobago, Uruguai e Venezuela.
AMR-D	Américas	Alta Mortalidade Em desenvolvimento	Bolívia, Equador, Guatemala, Haiti, Nicarágua e Peru.
SER-B	Sudeste Asiático	Baixa Mortalidade Em desenvolvimento	Indonésia, Sri Lanka e Tailândia
SER-D	Sudeste Asiático	Alta Mortalidade Em desenvolvimento	Bangladesh, Butão, República Democrática da Coreia, Índia, Maldivas, Myannar, Nepal e Timor Leste.
EUR-A	Europa	Desenvolvida	Andorra, Áustria, Bélgica, Croácia, Chipre, República Tcheca, Dinamarca, Finlândia, France, Alemanha, Grécia, Islândia, Irlanda, Israel, Itália, Luxemburgo, Malta, Mônaco, Países Baixos, Noruega, Portugal, São Marino, Eslovênia, Espanha, Suécia, Suíça, Reino Unido.
EUR-B	Europa	Desenvolvida	Albânia, Armênia, Azerbaijão, Bósnia - Hezergovina, Bulgária, Geórgia, Quirquístão, Polónia, Romênia, Sérvia e Montenegro, Eslováquia, Tajiquistão, Yugoslávia, Macedônia, Turquia, Turcomenistão, Uzbequistão.
EUR-C	Europa	Desenvolvida	Belarus, Estônia, Hungria, Cazaquistão, Letônia, Lituânia, Moldávia, Rússia, Ucrânia.
EMR-A	Oriente Médio	Baixa Mortalidade Em desenvolvimento	Bahrein, Irã, Jordânia, Kuwait, Líbano, Líbia, Omã, Qatar, Arábia Saudita, Síria, Tunísia, Emirados Árabes Unidos.
EMR-D	Oriente Médio	Alta Mortalidade Em desenvolvimento	Afeganistão, Djibuti, Egito, Iraque, Marrocos, Paquistão, Somália, Sudão e Yemen.
WPR-A	Oceania e Oriente	Desenvolvido	Austrália, Brunei Darussalam, Japão, Nova Zelândia e Singapura
WPR-B	Oceania e Oriente	Baixa Mortalidade Em desenvolvimento	Camboja, China, Ilhas Cook, Fiji, Kiribati, Laos, Malásia, Ilhas Marshall, Micronésia, Mongólia, Nauru, Niue, Palau, Nova Guiné Papua, Filipinas, República da Coreia, Samoa, Ilhas Salomão, Tonga, Tuvalu, Vanuatu, Vietnã.

Fonte: adaptado de Prüss-Üstün e Corvalán (2006).