

José Manuel Pereira Vieira

Água e Saúde Pública



EDIÇÕES SÍLABO

*À minha pequena família:
Rosa Leontina, minha mulher;
Pedro, Luis e Bárbara, meus filhos.*

Água e Saúde Pública

José Manuel Pereira Vieira



EDIÇÕES SÍLABO

É expressamente proibido reproduzir, no todo ou em parte, sob qualquer forma ou meio gráfico, eletrónico ou mecânico, inclusive fotocópia, este livro. As transgressões serão passíveis das penalizações previstas na legislação em vigor. Não participe ou encoraje a pirataria eletrónica de materiais protegidos. O seu apoio aos direitos dos autores será apreciado.

Visite a Sílabo na rede
www.silabo.pt

FICHA TÉCNICA

Título: Água e Saúde Pública
Autor: José Manuel Pereira Vieira
© Edições Sílabo, Lda.
Capa: Pedro Mota
Fotografia da capa: Puhha | Dreamstime.com
1.^a Edição – Lisboa, setembro de 2018.
Impressão e acabamentos: Europress, Lda.
Depósito Legal: 445849/18
ISBN: 978-972-618-969-5

 **EDIÇÕES SÍLABO, Lda.**
Publicamos conhecimento

Editor: Manuel Robalo

R. Cidade de Manchester, 2
1170-100 Lisboa
Telf.: 218130345
e-mail: silabo@silabo.pt
www.silabo.pt

Índice

Índice de figuras e quadros	11
Lista de abreviaturas e siglas	25
Prefácio	29

Capítulo 1

Água, saneamento e saúde

1.1. Breve nota histórica	34
1.1.1. O abastecimento de água desde a antiguidade	34
1.1.2. Ciência, tecnologia e saúde pública	65
1.2. Água e saneamento: universalização e sustentabilidade	85
1.2.1. Os objetivos de desenvolvimento do milénio	86
1.2.2. Progressos no acesso a água e a saneamento	88
1.2.3. Os desafios da sustentabilidade	98

Capítulo 2

Aspetos de microbiologia da água

2.1. Classificação da vida no planeta	121
2.2. Classificação das doenças relacionadas com a água	124
2.2.1. Doenças veiculadas pela água	128
2.2.2. Doenças relacionadas com higiene precária	133
2.2.3. Doenças por contacto com a água	133
2.2.4. Doenças relacionadas com insetos vetores	134

2.3. Alguns aspetos de doenças gastrointestinais	135
2.3.1. Doenças provocadas por infeções bacterianas	137
2.3.2. Doenças provocadas por infeções virais	149
2.3.3. Doenças provocadas por protozoários e helmintas	156
2.4. Alguns aspetos de doenças respiratórias	170
2.4.1. Legionelose (Doença dos Legionários)	170
2.4.2. Infeção por <i>Naegleria</i>	172
2.4.3. Infeção respiratória por Adenovirus	174
2.5. Alguns aspetos de doenças transmitidas por contacto com a água	176
2.5.1. Esquistossomose	176
2.5.2. Infeção por <i>Acanthamoeba</i>	182
2.5.3. Leptospirose	184
2.5.4. Melioidose	185
2.6. Alguns aspetos de doenças transmitidas por artrópodes	186
2.6.1. Malária	187
2.6.2. Febre amarela, dengue e zika	193
2.6.3. Oncocercose (cegueira dos rios)	198
2.7. Cianobactérias tóxicas	200
2.8. Doenças relacionadas com a água em Portugal	203
2.7.1. Doença dos Legionários	204
2.7.2. Cólera	206
2.7.3. Febre amarela	207
2.7.4. Febre Tifoide e Paratifoide	208
2.7.5. Hepatite A	209
2.7.6. Leptospirose	210
2.7.7. Malária	211
2.7.8. Salmoneloses não <i>typhi</i> e não <i>paratyphi</i>	212
2.7.9. Shigelose	213

Capítulo 3

Contaminantes inorgânicos, radiológicos e orgânicos

3.1. Contaminantes inorgânicos nocivos para a saúde	220
3.1.1. Alumínio	220
3.1.2. Arsénio	222
3.1.3. Cádmio	224
3.1.4. Chumbo	225
3.1.5. Cianetos	227
3.1.6. Cobre	228
3.1.7. Crómio	229
3.1.8. Dureza	231
3.1.9. Flúor	234
3.1.10. Mercúrio	236
3.1.11. Níquel	238
3.1.12. Nitrato e nitrito	240
3.1.13. Prata	242
3.1.14. Selénio	243
3.1.15. Sódio	245
3.1.16. Sulfato	246
3.1.17. Zinco	247
3.2. Contaminantes inorgânicos com implicações organolépticas e estéticas	248
3.2.1. Ferro	249
3.2.2. Manganês	251
3.2.3. Sulfureto de Hidrogénio	252
3.2.4. Sólidos suspensos totais	253
3.2.5. Sólidos dissolvidos totais	254
3.3. Desinfetantes e subprodutos da desinfecção	256
3.3.1. Cloro	256
3.3.2. Cloraminas	259
3.3.3. Dióxido de cloro	259
3.3.4. Ozono	260

3.4. Radionuclídeos	261
3.4.1. Radão	265
3.4.2. Rádio	265
3.4.3. Urânio	266
3.5. Compostos orgânicos	266
3.5.1. Compostos orgânicos voláteis	267
3.5.2. Compostos orgânicos sintéticos	268
3.5.3. Matéria orgânica natural	272

Capítulo 4

Normas e controlo da qualidade da água

4.1. Água na natureza e objetivos de tratamento	277
4.2. Evolução das normas de qualidade	280
4.2.1. Estados Unidos da América	281
4.2.2. Organização Mundial da Saúde	284
4.2.3. União Europeia	286
4.3. Método para o estabelecimento das normas	288
4.3.1. Qualidade microbiológica	288
4.3.2. Substâncias químicas	290
4.3.3. Radionuclídeos	298
4.3.4. Características físicas	299
4.4. Normas de qualidade na legislação portuguesa	301
4.4.1. Águas naturais destinadas à produção de água para consumo humano	302
4.4.2. Águas destinadas ao consumo humano	306
4.5. Monitorização da qualidade da água	312
4.5.1. Objetivos gerais e programas de monitorização	313
4.5.2. Zonas de monitorização	314
4.5.3. Monitorização de parâmetros microbiológicos, físicos e químicos	315
4.5.4. Monitorização de substâncias radioativas	321

Capítulo 5

Plano de segurança da água – Conceito e metodologia

5.1. Introdução	328
5.2. Quadro de referência para a segurança da água para consumo	333
5.3. Objetivos baseados em saúde. Abordagem da OMS	335
5.3.1. Definição de objetivos	335
5.3.2. DALY: conceito e método de uma medida de agregação de riscos	337
5.3.3. Avaliação semi-quantitativa de riscos	344
5.3.4. Tipos de objetivos baseados em saúde	346
5.4. Plano de segurança da água	350
5.4.1. Componentes de um PSA	351
5.4.2. Vigilância	355
5.5. Papéis e responsabilidades na gestão da qualidade da água	356

Capítulo 6

Plano de segurança da água – Desenvolvimento

6.1. Estrutura de um PSA	365
6.2. Preparação (Módulo 1)	367
6.2.1. Cultura de qualidade e segurança	367
6.2.2. Envolvimento de partes interessadas	368
6.2.3. Envolvimento da gestão de topo da entidade gestora	369
6.2.4. Formação de uma equipa multidisciplinar	370
6.3. Avaliação do sistema	372
6.3.1. Descrever o sistema de abastecimento de água (Módulo 2)	373
6.3.2. Identificar os perigos e eventos perigosos e avaliar os riscos (Módulo 3)	378
6.3.3. Determinar e validar as medidas de controlo, reavaliar e priorizar os riscos (Módulo 4)	391
6.3.4. Desenvolver, implementar e manter um plano de melhoria (Módulo 5)	401

6.4. Monitorização operacional	402
6.4.1. Definir a monitorização das medidas de controlo (Módulo 6)	403
6.4.2. Verificar a eficácia do PSA (Módulo 7)	408
6.5. Gestão e comunicação	410
6.5.1. Preparar os procedimentos de gestão (Módulo 8)	410
6.5.2. Desenvolver programas de suporte (Módulo 9)	415
6.6. Revisão e melhoria	416
6.6.1. Planear e executar a revisão periódica do PSA (Módulo 10)	416
6.6.2. Rever o PSA na sequência de um incidente (Módulo 11)	417
6.7. PSA aplicado em pequenos sistemas	418
6.8. O papel da auditoria em PSA	421
6.9. A gestão de riscos na bacia de captação	425
6.9.1. Características das bacias de captação	426
6.9.2. Preparação e objetivos de um PSA para a bacia de captação	427
6.9.3. Quadro geral para o desenvolvimento de um PSA para a bacia de captação	429
6.9.4. Metodologias para avaliação e gestão de riscos em bacias hidrográficas	436
6.9.5. Ferramentas hidroinformáticas no controlo da qualidade da água numa bacia hidrográfica	437
6.10. Estratégia para a implementação de PSA a uma escala nacional	446
6.10.1. Quadro nacional para implementação de PSA	446
6.10.2. Procedimentos ao nível da entidade gestora	448
6.10.3. Procedimentos ao nível nacional	448
6.10.4. Forças motrizes	450
6.10.5. Atividades de suporte	451
6.10.6. Quadro global	452
6.10.7. Programa operacional	453
6.11. Glossário PSA	454

Índice de figuras e quadros

■ Figuras

Figura 1.1A. Esquema de secção transversal de um <i>Qanat</i>	37
Figura 1.1B. Imagem de reservatório na sua saída (<i>Qanat</i> de Niavarán, Irão).....	37
Figura 1.2. Império Persa no seu período de maior extensão (500 a.C.)	38
Figura 1.3. Vestígios de conduta em terracota para a distribuição de água em Knossos (Creta).....	38
Figura 1.4. Extensão geográfica do império de Alexandre Magno	39
Figura 1.5. Aquedutos de Pergamo: três linhas de condutas em terracota	40
Figura 1.6. Extensão geográfica do império Romano nos séculos 1-2 a.C.	41
Figura 1.7. Representação esquemática de um sistema de sistema de abastecimento de água a uma cidade romana	42
Figura 1.8A. Componente de sistema de abastecimento romano: Cisterna.....	43
Figura 1.8B. Componente de sistema de abastecimento romano: Fonte.....	44
Figura 1.8C. Componente de sistema de abastecimento romano: Conduta de distribuição em chumbo.....	45
Figura 1.8D. Componente de sistema de abastecimento romano: Tubo de queda em terracota para recolha de água pluvial.....	46
Figura 1.9A. Aqueduto (<i>Pont du Gard</i>) do sistema de abastecimento à cidade de Nîmes (antiga <i>Nemausus</i>), em França.....	47
Figura 1.9B. <i>Castellum divisorium</i> do sistema de abastecimento à cidade de Nîmes (antiga <i>Nemausus</i>), em França.....	47
Figura 1.10A. Aqueduto da cidade de Segóvia, em Espanha.....	48
Figura 1.10B. Aqueduto da cidade de Mérida (<i>Emerita Augusta</i>), em Espanha	48
Figura 1.10C. Aqueduto da cidade de Tarragona (<i>Tarraco</i>), em Espanha	49
Figura 1.11A. Ruínas do aqueduto <i>Aqua Claudia</i> , na cidade de Roma.....	49
Figura 1.11B. Pormenor dos aquedutos sobrepostos do <i>Aqua Claudia</i> (superior) com o <i>Anio Novus</i> (inferior) na <i>Porta Maggiore</i> , na cidade de Roma	50
Figura 1.12A. Imagem do aqueduto <i>Aqua Alexandrina</i> , em Roma	50

Figura 1.12B. Imagem do aqueduto <i>Aqua Alexandrina</i> , em Roma	51
Figura 1.13. Mapa com a implantação do sistema de aquedutos romanos no período imperial.....	52
Figura 1.14A. Pintura representando banhos públicos em Pompeia (<i>A Favorite Custom</i> , Sir Lawrence Alma-Tadema, 1909).....	53
Figura 1.14B. Imagem de ruínas das termas romanas da cidade de Braga, Portugal (antiga <i>Bracara Augusta</i>)	54
Figura 1.15A. Fontes decorativas em Roma: <i>Fontana dell'Acqua Felice</i>	55
Figura 1.15B. Fontes decorativas em Roma: <i>Fontana di Trevi</i>	56
Figura 1.16A. Sete Fontes, Braga: mães de água.....	57
Figura 1.16B. Sete Fontes, Braga: aquedutos reabilitados nos séculos XVII e XVIII.....	57
Figura 1.16C. Sete Fontes, Braga: aquedutos reabilitados nos séculos XVII e XVIII.....	58
Figura 1.17A. Imagem do aqueduto das Águas Livres, em Lisboa.....	59
Figura 1.17B. Imagem do aqueduto das Águas Livres, em Lisboa.....	60
Figura 1.18. Estação elevatória a vapor dos Barbadinhos destinada a bombear água do aqueduto do Alviela para a cidade de Lisboa, inaugurada em 1880.....	61
Figura 1.19A. Cenas quotidianas do uso urbano da água em meados do século XX, em Portugal.....	62
Figura 1.19B. Cenas quotidianas do uso urbano da água em meados do século XX, em Portugal.....	63
Figura 1.20A. Situações diferenciadas no acesso a água segura no século XXI: em países desenvolvidos.....	64
Figura 1.20B. Situações diferenciadas no acesso a água segura no século XXI: em países em desenvolvimento.....	64
Figura 1.21. Ruínas de sanitários públicos romanos, em Ostia, mostrando canal de águas correntes	66
Figura 1.22. <i>Cloaca maxima</i> de Roma: descarga no rio Tibre	67
Figura 1.23A. Ilustração de cena de banho privado na Idade Média	69
Figura 1.23B. Ilustração de cena de banho privado na Idade Média	70
Figura 1.24A. Propagação da peste bubónica na Europa (1347-1351).....	71
Figura 1.24B. Representação da peste em Florença, Itália.....	72
Figura 1.25A. Imagens de Lisboa do século XIX: fontanário público para abastecimento de pessoas e animais.....	74
Figura 1.25B. Imagem de Lisboa do século XIX: gravura representando o despejo de esgotos domésticos para a via pública	75
Figura 1.26A. Ilustração na imprensa Inglesa sobre as consequências da cólera e da sua íntima relação com a água consumida.....	76

Figura 1.26B. Ilustração na imprensa Inglesa sobre as consequências da cólera e da sua íntima relação com a água consumida	77
Figura 1.27. Taxa de mortalidade por febre tifoide nos Estado Unidos (1900-1960).....	80
Figura 1.28. Vista aérea da estação de tratamento de Areias de Vilar, Barcelos, Portugal	81
Figura 1.29A. Ameaças emergentes devidas ao lançamento de substâncias químicas no ambiente	83
Figura 1.29B. Ameaças emergentes devidas ao lançamento de substâncias químicas no ambiente	83
Figura 1.30. Progresso global para os ODM em acesso a água potável (período 1990-2015).....	91
Figura 1.31. Cobertura da população mundial em água potável em 2015 relacionada com os ODM e incrementos percentuais verificados no período 1990-2015.....	92
Figura 1.32. Percentagens de população com acesso a fontes de água melhoradas em 2015	93
Figura 1.33. Progresso global para os ODM em acesso a sistemas básicos de saneamento verificado no período 1990-2015	95
Figura 1.34. Cobertura da população mundial em sistemas de saneamento em 2015 relacionada com os ODM e incrementos percentuais verificados no período 1990-2015.....	96
Figura 1.35. Percentagens de população com acesso a instalações sanitárias adequadas em 2015.....	98
Figura 1.36. Estruturação estratégica dos ODM e ODS relativamente às grandes áreas de importância crítica para a humanidade e para o planeta.....	100
Figura 1.37. População mundial. Estimativas e projeções.....	102
Figura 1.38. Projeção da evolução da população mundial nas regiões desenvolvidas e em desenvolvimento (1950-2050).....	104
Figura 1.39. Projeção da evolução da população mundial rural e urbana (1950-2050).....	105
Figura 1.40. Distribuição da população urbana por classes de dimensão das cidades (1970-2030).....	107
Figura 1.41. Urbanização não planeada com reflexos em infraestruturas sanitárias insustentáveis	110
Figura 1.42A. Elevada densificação urbana originando elevadas pressões humanas sobre os serviços urbanos de água	110
Figura 1.42B. Elevada densificação urbana originando elevadas pressões humanas sobre os serviços urbanos de água	110
Figura 1.42C. Elevada densificação urbana originando elevadas pressões humanas sobre os serviços urbanos de água	111

Figura 1.43A. Eventos extremos (cheias) com graves consequências na gestão dos recursos hídricos disponíveis e do ciclo urbano da água.....	112
Figura 1.43B. Eventos extremos (secas) com graves consequências na gestão dos recursos hídricos disponíveis e do ciclo urbano da água.....	112
Figura 1.44A. Fonte de água insegura devido a descargas de esgotos domésticos	113
Figura 1.44B. Fonte de água insegura devido a descargas de esgotos domésticos	114
Figura 1.45A. Fonte de água insegura devido a poluição industrial.....	114
Figura 1.45B. Fonte de água insegura devido a poluição industrial.....	115
Figura 2.1. Transmissão de doenças através da rota fecal-oral e barreiras para a sua prevenção	129
Figura 2.2. Redução de doenças diarreicas por melhoria em abastecimento de água e saneamento.....	131
Figura 2.3 Esquema com rotas de transmissão e exemplos de microrganismos causadores de doenças veiculadas pela água.....	135
Figura 2.4. Imagem (ao microscópio eletrónico) de <i>Salmonella spp</i>	137
Figura 2.5. Distribuição geográfica da febre tifoide.....	138
Figura 2.6. Distribuição da febre tifoide por grupos etários e para várias incidências.....	139
Figura 2.7. Imagem (ao microscópio eletrónico) de <i>Vibrio cholerae</i>	140
Figura 2.8. Estimativa de número anual de casos de cólera em países onde a doença é endémica	142
Figura 2.9. Taxas de mortalidade, por grupos etários, em países onde a cólera é endémica.....	143
Figura 2.10. Imagem (ao microscópio eletrónico) de <i>Shigella dysenteriae</i>	144
Figura 2.11. Imagem (ao microscópio eletrónico) de <i>Campylobacter jejuni</i>	146
Figura 2.12. Imagem (ao microscópio eletrónico) de <i>Escherichia coli</i>	148
Figura 2.13. Imagem (ao microscópio eletrónico) de vírus da hepatite A (VHA) (28 nm).....	150
Figura 2.14. Imagem (ao microscópio eletrónico) de vírus da hepatite E (VHE) (27-30 nm).....	151
Figura 2.15. Imagem (ao microscópio eletrónico) de rotavirus	152
Figura 2.16. Estimativa global de número anual de fatalidades em crianças jovens por rotavirus.....	153
Figura 2.17. Imagem (ao microscópio eletrónico) de vírus Norwalk	154
Figura 2.18. Imagem (ao microscópio eletrónico) de enterovírus.....	155
Figura 2.19A. Imagem (ao microscópio eletrónico) de <i>Entamoeba histolytica</i> : cisto(12-15 µm)	157

Figura 2.19B. Imagem (ao microscópio eletrônico) de <i>Entamoeba histolytica</i> : trofozoíto (10-60 µm)	157
Figura 2.20. Ciclo de vida da <i>Entamoeba histolytica</i>	158
Figura 2.21A. Imagem (ao microscópio eletrônico) de <i>Giardia intestinalis</i> : cisto (10-14 µm)	160
Figura 2.21B. Imagem (ao microscópio eletrônico) de <i>Giardia intestinalis</i> : trofozoíto (10-20 µm)	160
Figura 2.22. Imagem (microscópio eletrônico) de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> <i>parvum</i> (4,2-5,4 µm)	162
Figura 2.23A. Imagem (ao microscópio eletrônico) de <i>Toxoplasma gondii</i> (10-12 µm): oocisto esporulado	163
Figura 2.23B. Imagem (ao microscópio eletrônico) de <i>Toxoplasma gondii</i> (10-12 µm): oocisto não esporulado	163
Figura 2.24A. Imagem (ao microscópio eletrônico) de ruptura de um oocisto de <i>Cyclospora cayetanensis</i> (7,5-10 µm) com a liberação de um esporozoíto.....	165
Figura 2.24B. Dimensões comparativas de <i>Giardia</i> , <i>Cyclospora</i> e <i>Cryptosporidium</i>	165
Figura 2.25A. Copépode do gênero <i>Cyclops</i> (0,5-5 mm)	167
Figura 2.25B. <i>Dracunculus medinensis</i> (fêmea: 40-60 cm; macho: 4cm).....	168
Figura 2.26. Casos de dracunculíase reportados a nível mundial, a partir de 1989.....	169
Figura 2.27. Imagem (ao microscópio eletrônico) de <i>Legionella pneumophila</i> (1-3 µm).....	171
Figura 2.28. Imagens ao microscópio de estágios de <i>Naegleria fowleri</i> : Cisto de forma esférica (7-15 µm)	173
Figura 2.28. Imagens ao microscópio de estágios de <i>Naegleria fowleri</i> : flagelado (10-16 µm)	173
Figura 2.28. Imagens ao microscópio de estágios de <i>Naegleria fowleri</i> : trofozoíto (8-22 µm)	174
Figura 2.29. Imagens ao microscópio de Adenovirus (90-100 nm)	175
Figura 2.30. Imagens ao microscópio eletrônico de <i>Schistosoma</i> adulto (macho e fêmea)	177
Figura 2.31A. Imagens ao microscópio eletrônico de ovos de <i>Schistosoma</i> : <i>S.manson</i>	178
Figura 2.31B. Imagens ao microscópio eletrônico de ovos de <i>Schistosoma</i> : <i>S.japonicum</i>	178
Figura 2.31C. Imagens ao microscópio eletrônico de ovos de <i>Schistosoma</i> : <i>S.haematobium</i>	179
Figura 2.32. Ciclo de vida do <i>Schistosoma</i>	180
Figura 2.33A. Imagens ao microscópio de estágios de <i>Acanthamoeba</i> : Cisto	182

Figura 2.33B. Imagens ao microscópio de estágios de <i>Acanthamoeba</i> : trofozoíto	183
Figura 2.34. Imagens ao microscópio de <i>Leptospira</i>	184
Figura 2.35. Imagens ao microscópio de <i>Burkholderia pseudomallei</i> (2-5 µm)	185
Figura 2.36A. Imagens ao microscópio de trofozoítos (1-2 µm) de <i>Plasmodium</i> : <i>P.falciparum</i>	188
Figura 2.36B. Imagens ao microscópio de trofozoítos (1-2 µm) de <i>Plasmodium</i> : <i>P.vivax</i>	188
Figura 2.36C. Imagens ao microscópio de trofozoítos (1-2 µm) de <i>Plasmodium</i> : <i>P.ovale</i>	189
Figura 2.36D. Imagens ao microscópio de trofozoítos (1-2 µm) de <i>Plasmodium</i> : <i>P.malariae</i>	189
Figura 2.37. Mosquito do género <i>Anopheles</i>	190
Figura 2.38. Distribuição geográfica da malária em 2015	191
Figura 2.39A. Febre amarela: Vírus (50 nm)	194
Figura 2.39B. Febre amarela: Mosquito da espécie <i>Aedes aegypti</i>	194
Figura 2.40. Número médio anual de casos (1955-2007) e número de casos (2008-2010) de dengue reportados pela OMS	196
Figura 2.41A. Zika: Vírus (40 nm)	197
Figura 2.41B. Vírus Zika: Mosquito da espécie <i>Aedes albopictus</i>	197
Figura 2.42. Regiões geográficas com probabilidade de transmissão do vírus Zika	198
Figura 2.43A. Helminas <i>Onchocerca volvulus</i>	199
Figura 2.43B. Mosca da espécie <i>Simulium damnosum</i> (mosca preta)	199
Figura 2.44. Regiões geográficas com incidências de oncocercose	200
Figura 2.45. Número de casos de doença dos legionários notificados em Portugal, 1999-2014	205
Figura 2.46. Número de casos de cólera notificados em Portugal, 1999-2014	206
Figura 2.47. Número de casos de febre amarela notificados em Portugal, 1999-2014	207
Figura 2.48. Número de casos de febre tifoide e paratifoide notificados em Portugal, 1999-2014	208
Figura 2.49. Número de casos de hepatite A notificados em Portugal, 1999-2017	209
Figura 2.50. Número de casos de leptospirose notificados em Portugal, 1999-2014	210
Figura 2.51. Número de casos de malária notificados em Portugal, 1999-2014	211
Figura 2.52. Número de casos de salmoneloses não <i>typhi</i> e não <i>paratyphi</i> notificados em Portugal, 1999-2014	212
Figura 2.53. Número de casos de shigelose notificados em Portugal, 1999-2014	213

Figura 3.1. Localização geográfica das seis regiões de agregação de dados de qualidade da água	219
Figura 3.2. Séries radioativas naturais	264
Figura 4.1. Esquema para a localização de pontos de amostragem num sistema de abastecimento	315
Figura 5.1. Diagrama de fluxo para avaliação de riscos num sistema de abastecimento de água	331
Figura 5.2. Elementos fundamentais da gestão de um sistema de abastecimento público de água	332
Figura 5.4. Esperança de vida à nascença na União Europeia (UE-28, 2002–14)	339
Figura 5.5. Exemplos de como se definem, para vários perigos, objetivos com base em saúde	349
Figura 5.6. Elementos principais na cadeia de um sistema de abastecimento de água	350
Figura 5.7. Interação das componentes integrantes de um PSA	354
Figura 5.8. Processo iterativo de elaboração e implementação de um PSA	354
Figura 5.9. Responsabilidades por cada etapa do quadro de referência para a segurança da água	357
Figura 5.10. Relacionamento das diversas entidades com responsabilidades na gestão da qualidade da água para consumo humano	358
Figura 6.1. Articulação das componentes do PSA com as etapas do sistema de abastecimento	363
Figura 6.2. Desenvolvimento e implementação de um PSA em onze módulos	364
Figura 6.3. Esquema das seis tarefas para desenvolver e implementar um PSA em abastecimentos de água a pequenas comunidades	365
Figura 6.4. Representação das várias etapas da cadeia de abastecimento de água para o PSA	373
Figura 6.5. Diagrama de fluxo do subsistema de abastecimento de Areias de Vilar (Portugal)	378
Figura 6.6. Eficácia de processos de filtração na remoção de constituintes presentes na água	395
Figura 6.7. Reavaliação de riscos e definição das medidas de gestão, de acordo com uma escala de prioridades	399
Figura 6.8. Exemplo da análise de tendência para concentração de nitrato numa origem de água	406
Figura 6.9. Atividades de verificação do PSA	408
Figura 6.10. Dimensão dos sistemas de abastecimento de água em Portugal, em 2016	419

Figura 6.11. Esquema comparativo de etapas para a implementação de PSA aplicáveis em sistemas convencionais e em pequenos sistemas.....	421
Figura 6.12. Preparação de um PSA para uma bacia de captação.....	428
Figura 6.14. Parcerias a desenvolver na bacia hidrográfica a diferentes níveis.....	431
Figura 6.15. Componentes de um sistema de suporte à decisão aplicado na bacia do rio Guadiana.....	440
Figura 6.16. Diagrama geral de blocos com integração de cenários e medidas. Exemplo.....	441
Figura 6.17. Discretização da bacia hidrográfica do rio Cávado para modelação.....	443
Figura 6.18. Discretização da bacia hidrográfica do rio Cávado para modelação.....	444
Figura 6.19A. Resultados obtidos de modelação matemática em cenários para suporte de avaliação de riscos: concentração de coliformes em dois pontos de captação de água bruta, em cenários de funcionamento normal e em situação de rutura de ETAR.....	445
Figura 6.19B. Resultados obtidos de modelação matemática em cenários para suporte de avaliação de riscos: variação sazonal da concentração de coliformes na captação de Barcelos para valores médios de caudais e de descargas poluentes.....	445
Figura 6.20. Abordagem conceptual para um quadro nacional de implementação de PSA.....	447
Figura 6.21. Abordagem estratégica para a implementação de PSA à escala nacional....	452
Figura 6.22. Priorização das componentes de um plano estratégico para implementação de PSA.....	453

■ Quadros

Quadro 1.1. Aquedutos da Roma imperial com estimativas de caudal transportado.....	52
Quadro 1.2. Marcos históricos nas áreas de Medicina, Microbiologia e Engenharia, relacionados com os progressos verificados no controlo de doenças transmitidas por via hídrica.....	84
Quadro 1.3. Objetivos de desenvolvimento do milénio das nações unidas (2000).....	87
Quadro 1.4. Avaliação dos ODM em água e saneamento, em 2015.....	90
Quadro 1.5. Objetivos de desenvolvimento sustentável das nações unidas.....	99
Quadro 1.6. Distribuição da população mundial por região em 2016.....	103
Quadro 1.7. Projecção da distribuição da população mundial por região.....	104
Quadro 1.8. Projecção da evolução da população urbana mundial.....	106
Quadro 1.9. Projecção da evolução populacional em megacidades.....	108

Quadro 2.1. Algumas descobertas no domínio da Microbiologia de interesse para a Saúde Pública	120
Quadro 2.2. Taxonomia do homem, do lobo ibérico e da videira não cultivada	121
Quadro 2.3. Características distintivas dos reinos de seres vivos	122
Quadro 2.4. Principais grupos de microrganismos	123
Quadro 2.5. Grupos de parasitas mais importantes para os seres humanos	124
Quadro 2.6. Sistema de classificação de Bradley em quatro grupos para doenças infecciosas relacionadas com a (falta de) água	126
Quadro 2.7. Proposta de Bartram e Hunter para uma classificação de Bradley modificada	127
Quadro 2.8. Estimativa de mortalidade de crianças com menos de 5 anos de idade, em 2015, devida a doenças diarreicas em alguns países em desenvolvimento	130
Quadro 2.9. Classificação de Bradley para a transmissão de doenças relacionadas com excreta	131
Quadro 2.10. Microrganismos patogénicos transmitidos pela ingestão de água	132
Quadro 2.11. Número estimado de mortes causadas por cólera e taxa de mortalidade em países onde a doença não é endémica (dados referentes a 2005)	142
Quadro 2.12. Estimativas anuais para incidência global de shigelose e para mortalidade em países em desenvolvimento, por grupos etários	145
Quadro 2.13. Espécies de <i>Schistosoma</i> e distribuição geográfica de esquistossomose	182
Quadro 2.14. Evolução do número estimado de casos e de mortes causadas por malária entre 2000 e 2015	192
Quadro 2.15. Toxinas e metabolitos responsáveis por transmitir cheiro e sabor à água	202
Quadro 2.16. Doenças de declaração obrigatória relacionadas com a água, em Portugal	203
Quadro 2.17. Número de casos de doença dos legionários notificados e de episódios de internamento, por distrito/região, em Portugal no período 2004-2013	204
Quadro 2.18. Número de casos (grupo etário e sexo) de doença dos legionários notificados em Portugal, 2009-2014	205
Quadro 2.19. Número de casos (grupo etário e sexo) de cólera notificados em Portugal, 2009-2014	206
Quadro 2.20. Número de casos (grupo etário e sexo) de febre amarela notificados em Portugal, 2009-2014	207
Quadro 2.21. Número de casos (grupo etário e sexo) de febre tifoide e paratifoide notificados em Portugal, 2009-2014	208
Quadro 2.22. Número de casos (grupo etário e sexo) de hepatite A notificados em Portugal, 2009-2014	209

Quadro 2.23. Número de casos (grupo etário e sexo) de leptospirose notificados em Portugal, 2009-2014.....	210
Quadro 2.24. Número de casos grupo etário e sexo) de malária notificados em Portugal, 2009-2014.....	211
Quadro 2.25. Número de casos (grupo etário e sexo) de salmoneloses não <i>typhi</i> e não <i>paratyphi</i> notificados em Portugal, 2009-2014.....	212
Quadro 2.26. Número de casos (grupo etário e sexo) de shigelose notificados em Portugal, 2009-2014.....	213
Quadro 3.1. Origens de contaminação química em água para consumo humano.....	218
Quadro 3.2. Agregação territorial para estabelecimento de regiões de características similares para a qualidade da água de consumo em Portugal continental.....	219
Quadro 3.3. Concentrações de alumínio em água de consumo tratada.....	220
Quadro 3.4. Concentrações de alumínio em água de consumo em Portugal (2016).....	221
Quadro 3.5. Concentrações de arsénio em água de consumo em Portugal (2016).....	223
Quadro 3.6. Concentrações de cádmio em água de consumo em Portugal (2016).....	224
Quadro 3.7. Concentrações de chumbo em água de consumo em Portugal (2016).....	226
Quadro 3.8. Níveis mínimos de chumbo no sangue a partir dos quais se verificam efeitos nocivos em crianças.....	226
Quadro 3.9. Concentrações de cianeto em água de consumo em Portugal (2016).....	227
Quadro 3.10. Concentrações de cobre em água de consumo em Portugal (2016).....	229
Quadro 3.11. Concentrações de crómio em água de consumo em Portugal (2016).....	230
Quadro 3.12. Classificação de dureza da água.....	232
Quadro 3.13. Concentrações de cálcio em água de consumo em Portugal (2016).....	232
Quadro 3.14 Concentrações de magnésio em água de consumo em Portugal (2016).....	233
Quadro 3.15. Dureza total em água de consumo em Portugal (2016).....	233
Quadro 3.16. Concentrações de fluoretos em água de consumo em Portugal (2016).....	235
Quadro 3.17. Limites recomendados para a concentração do ião fluoreto na água para consumo humano no Brasil, em função da média das temperaturas máximas diárias do ar.....	236
Quadro 3.18. Concentrações de mercúrio em água de consumo em Portugal (2016).....	237
Quadro 3.19. Concentrações de níquel em água de consumo em Portugal (2016).....	239
Quadro 3.20. Concentrações de nitrito em água de consumo em Portugal (2016).....	241
Quadro 3.21. Concentrações de nitrato em água de consumo em Portugal (2016).....	241
Quadro 3.22. Concentrações de selénio em água de consumo em Portugal (2016).....	244
Quadro 3.23. Concentrações de sódio em água de consumo em Portugal (2016).....	245
Quadro 3.24. Concentrações de sulfato em água de consumo em Portugal (2016).....	247

Quadro 3.25. Concentrações de ferro em água de consumo em Portugal (2016).....	250
Quadro 3.26. Concentrações de manganês em água de consumo em Portugal (2016) ...	252
Quadro 3.27. Turvação em água de consumo em Portugal (2016).....	254
Quadro 3.28. Condutividade em água de consumo em Portugal (2016).....	255
Quadro 3.29. Concentrações de cloro residual em água de consumo em Portugal (2016).....	257
Quadro 3.30. Concentrações trihalometanos total em água de consumo em Portugal (2016).....	258
Quadro 3.31. Doses de radiação média anual para a população mundial por pessoa e por origem.....	263
Quadro 3.32. Efeitos para a saúde de COV de ocorrência mais frequente.....	267
Quadro 3.33. Classificação de pesticidas.....	269
Quadro 3.34. Efeitos para a saúde de COS de ocorrência mais frequente.....	270
Quadro 3.35. Pesticidas totais em água de consumo em Portugal (2016).....	272
Quadro 3.36. Solubilidade de substâncias húmicas.....	273
Quadro 4.1. Substâncias mais comuns presentes na água e seus efeitos.....	278
Quadro 4.2. Tecnologias e objetivos para o tratamento da água.....	279
Quadro 4.3. Presença de microrganismos indicadores em esgotos domésticos.....	289
Quadro 4.4. Toxicidade aguda medida em DL_{50}	292
Quadro 4.5. DL_{50} para o homem de alguns compostos.....	292
Quadro 4.6. Toxicidade subaguda medida em nível de efeito nulo.....	293
Quadro 4.7. Fontes de incerteza no estabelecimento de valores de referência.....	295
Quadro 4.8. Esquemas tipo de tratamento referentes às classes A1, A2 e A3 das águas superficiais.....	302
Quadro 4.9. Qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano.....	303
Quadro 4.10. Valores paramétricos de parâmetros microbiológicos.....	308
Quadro 4.11. Valores paramétricos de parâmetros químicos.....	309
Quadro 4.12. Valores paramétricos de parâmetros indicadores.....	311
Quadro 4.13. Prioridades de monitorização baseadas em avaliação do risco para a saúde.....	316
Quadro 4.14. Monitorização da qualidade da água. Parâmetros a analisar por tipo de controlo.....	319
Quadro 4.15. Frequência mínima de amostragem e análise da água para controlo da conformidade.....	320

Quadro 4.16. Frequência mínima de amostragem e análise da água fornecida por entidade gestora em alta	320
Quadro 4.17. Valores paramétricos para o radão, o trítio e a Dose Indicativa na água destinada ao consumo humano.....	321
Quadro 4.18. Concentrações derivadas de radioatividade na água para consumo humano	323
Quadro 4.19. Frequência mínima de amostragem e análise dos níveis de radionuclídeos	325
Quadro 5.1. Esperança de vida à nascença na União Europeia (1980-2014)	340
Quadro 5.2. Classes de incapacidade, indicadores de condições e pesos de severidade.....	342
Quadro 5.3. Determinação de carga de doença em consequência de infeção por rotavirus	343
Quadro 5.4. Determinação de carga de doença em consequência de infeção por <i>c. parvum</i>	344
Quadro 5.5. Exemplo de matriz semi-quantitativa de risco.....	345
Quadro 5.6. Natureza e aplicação de objetivos baseados em saúde.....	348
Quadro 5.7. Esquema conceptual a adotar no desenvolvimento de um PSA	352
Quadro 6.1. Sinóptico das várias ações específicas previstas e do resultado a ser conseguido nas várias fases de desenvolvimento de um PSA	366
Quadro 6.2. Informação necessária para caracterizar um sistema. Exemplo	374
Quadro 6.3. Elementos essenciais para caracterizar um sistema de abastecimento.....	375
Quadro 6.4. Identificação de perigos. Exemplos	381
Quadro 6.5. Fontes de potenciais perigos. Exemplos.....	381
Quadro 6.6. Exemplos de eventos perigosos associados às origens de água.....	383
Quadro 6.7. Exemplos de eventos perigosos associados ao tratamento	384
Quadro 6.8. Exemplos de eventos perigosos associados à distribuição.....	384
Quadro 6.9. Exemplos de eventos perigosos associados aos consumidores.....	384
Quadro 6.10. Escala de probabilidade de ocorrência de um perigo ou evento perigoso. Exemplo.....	386
Quadro 6.11. Escala de severidade das consequências de um perigo ou evento perigoso. Exemplo.....	386
Quadro 6.12. Matriz de classificação de riscos. Exemplo	387
Quadro 6.13. Exemplo de cálculo para a classificação de riscos	388
Quadro 6.14. Exemplo de medidas de controlo associadas às origens de água	392
Quadro 6.15. Exemplo de medidas de controlo associadas ao tratamento de água.....	393

Quadro 6.16. Exemplo de medidas de controlo associadas à distribuição de água	393
Quadro 6.17. Exemplo de medidas de controlo associadas à rede predial	394
Quadro 6.18. Taxas de remoção estimadas de microrganismos patogénicos num sistema de barreiras múltiplas	397
Quadro 6.21. Exemplo de plano de melhoria para o controlo do risco de <i>Cryptosporidium</i> na captação	401
Quadro 6.22. Exemplo de esquema para monitorização operacional na etapa de tratamento – filtração rápida	407
Quadro 6.23. Exemplo de esquema para monitorização operacional na etapa distribuição – pressão do sistema	407
Quadro 6.24. Procedimentos operacionais padronizados – visão geral e captação	412
Quadro 6.25. Exemplos de eventos excecionais	413
Quadro 6.26. Exemplo de conteúdos de um Plano de Contingência	414
Quadro 6.27. Abordagem simplificada para implementação de PSA a pequenos sistemas	420
Quadro 6.28. Tipos de auditorias	422
Quadro 6.29. Recomendações para frequência de auditoria ao PSA	424
Quadro 6.30. Tipos e características de fontes de água bruta	426
Quadro 6.31. Objetivos de um PSA para a bacia de captação	428
Quadro 6.32. Fatores que afetam a qualidade da água bruta	437

Lista de abreviaturas e siglas

a.C.	Antes de Cristo
CDC	US Centers for Disease Control and Prevention
CEE	Comunidade Económica Europeia
COD	Carbono orgânico dissolvido
COS	Compostos orgânicos sintéticos
COT	Carbono orgânico total
COV	Compostos orgânicos voláteis
DALY	<i>Disability-adjusted life years</i> (anos de vida ajustados à incapacidade)
d.C.	Depois de Cristo
DDO	Doenças de Declaração Obrigatória
DDT	diclorodifeniltricloroetano
DGS	Direção-Geral da Saúde
DL50	Dose letal para 50% de uma população de seres humanos ou animais
DVG	Doença do verme-da-guiné (dracunculíase)
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental dos EUA)
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETA	Estação de tratamento de água para consumo humano
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
EUA	Estados Unidos da América
EURATOM	Comunidade Europeia da Energia Atómica (CEEA)

EUROSTAT	Autoridade estatística da União Europeia
GSM	Geosmina (trans-1,10-dimetil-trans-9-decalol)
HACCP	<i>Hazard Analysis and Critical Control Point</i> (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controlo)
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDT	Ingestão diária tolerável
IWA	<i>International Water Association</i> (Associação Internacional da Água)
ICRP	<i>International Commission on Radiologic Protection</i> (Comissão Internacional de Proteção Radiológica)
LOAEL	<i>Lowest-observed-adverse-effect level</i> (nível mínimo em que foi observado efeito adverso)
MAP	Meningoencefalite Amebiana Primária
MIB	2-metilisoborneol (1,2,7,7-tetrametil-exo-biciclo-[2,2,1]-heptan-2-ol)
MON	Matéria orgânica natural
NOAEL	<i>No-observed-adverseeffect level</i> (nível máximo de efeito adverso não observado)
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milénio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PCB	Policlorobifenilos
PCQA	Programas de Controlo da Qualidade da Água
PSA	Plano de Segurança da Água
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SST	Sólidos suspensos totais
SSD	Sistema de suporte à decisão
UE	União Europeia
EU-28	União Europeia com 28 Estados Membros

UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNICEF	United Nations Children's Fund
UNSCEAR	Comissão Científica das Nações Unidas para os Efeitos da Radiação Atómica
UNT	Unidade Nefelométrica de Turvação
VG	Valor Guia
VP	Valor paramétrico
WHOPES	Programa de avaliação de pesticidas da OMS
YLD	<i>Years lived with disability</i> (número de anos vividos com incapacidade ou com saúde precária)
YLL	<i>Years of life lost</i> (número de anos perdidos devido à mortalidade prematura)

Prefácio

A água constitui um elemento fundamental para a saúde humana, razão pela qual a produção e fornecimento de água de inquestionável qualidade deve merecer o estatuto de primeiro objetivo e preocupação na gestão dos sistemas públicos de abastecimento de água.

O reconhecimento do acesso a água segura (água inócua para a saúde humana) e a saneamento adequado como um direito humano, em 2010, por parte da Assembleia Geral das Nações Unidas, constituiu um ato político de elevado significado estratégico, que pode contribuir, decisivamente, para um novo impulso, a nível mundial, no sentido de garantir o acesso universal a estes serviços básicos que se têm revelado de vital importância para as políticas de proteção da saúde pública e para a promoção da qualidade de vida nas sociedades modernas.

Em 2000, a «Declaração do Milénio das Nações Unidas», traduzida em oito «Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM)», tendo como grande objetivo político comprometer todos os países numa parceria global para reduzir a pobreza extrema em todas as suas múltiplas dimensões, estabeleceu um conjunto de metas calendarizadas até 2015. Significativamente, um desses objetivos (garantir a sustentabilidade ambiental) continha a meta de «reduzir para metade, até 2015, a percentagem da população sem acesso permanente a água potável e a saneamento básico». No entanto, apesar da pro-actividade colocada no desenvolvimento de políticas públicas com esse propósito e embora se reconheçam avanços importantes para incrementar o acesso a fontes melhoradas de água durante esse período, verificava-se, em 2015, que cerca de 663 milhões de pessoas não tinham acesso a água segura para consumo, 1,8 mil milhões de pessoas acediam a fontes de água com contaminação fecal e cerca de 2,4 mil milhões continuavam sem acesso a saneamento.

Entretanto, aproveitando a experiência de cooperação internacional conseguida com os ODM, as Nações Unidas aprovaram, em 2015, a denominada «Agenda 2030 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável», cujo objetivo «assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos» tem como uma das suas metas alcançar, até 2030, o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível para todos. Pretende-se, assim, atingir objetivos não só quantitativos mas também qualitativos, com impacto direto na saúde pública.

As doenças relacionadas com a água originadas, quer por inadequados sistemas de abastecimento e má qualidade da água consumida, quer por deficiente saneamento e higiene, são responsáveis por grandes catástrofes humanas. Segundo a Organização Mundial da Saúde, só as doenças diarreicas são responsáveis pela morte, todos os anos, de 760 mil crianças com idade inferior a cinco anos, maioritariamente em países em desenvolvimento, diretamente relacionadas com as insuficientes condições de acesso a água segura, a adequado saneamento e a higiene, situação cuja resolução técnica, se apresenta, paradoxalmente, de relativa facilidade, dado o conhecimento científico atual.

A garantia do abastecimento de água segura enfatiza a necessidade de ações estruturadas para prevenir a contaminação ao longo de todo o sistema de abastecimento público de água, abrindo-se a oportunidade para avaliar, à escala mundial, a qualidade da água para consumo através de normas legais para monitorizar contaminação fecal e produtos químicos prioritários. Desta forma, a identificação, monitorização e controlo de constituintes microbiológicos, químicos, físicos e radiológicos presentes na água, que colocam grandes riscos para a saúde, merecem uma abordagem integrada em toda a gestão operacional dos sistemas públicos de abastecimento de água.

Por outro lado, a partir da publicação pela Organização Mundial da Saúde, em 2004, das «Diretrizes para a qualidade da água para consumo humano», propondo um novo conceito de gestão do processo de produção e distribuição de água, através da implementação de «Planos de segurança de água», tem-se assistido a uma progressiva aceitação deste conceito a nível mundial, registando-se, inclusivamente, a sua integração em alguns quadros normativos legais. Trata-se de uma abordagem abrangente de avaliação e gestão de riscos que engloba todas as etapas da

cadeia de abastecimento de água, desde a bacia de captação até à torneira do consumidor e que é amplamente reconhecida como a forma mais confiável e efetiva de gerir o sistema de abastecimento de água para proteger a saúde pública.

A presente publicação é o resultado da experiência do autor como professor, engenheiro, investigador e consultor no domínio da Hidráulica Ambiental e pretende apresentar uma visão holística sobre os mais recentes desenvolvimentos relacionados com a qualidade da água para consumo humano e as metodologias para o seu controlo. Embora se reconheça que já existem publicações abrangendo as temáticas aqui cobertas, nomeadamente manuais técnicos e normas legais, tem-se como propósito suplementar o corpo de conhecimento existente, principalmente em Língua Portuguesa, apresentando, de forma estruturada, os temas mais relevantes para o controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano, componente fundamental para qualquer política pública de saúde.

Pelo seu conteúdo, pretende-se que o livro sirva de referência bibliográfica de base em unidades curriculares de programas de pós-graduação em Engenharia Civil e Engenharia do Ambiente e de outras formações em áreas afins, embora possa ser também de utilidade na formação de profissionais com atividade em agências reguladoras e em entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água. A organização temática foi realizada na perspetiva de se constituir como um elemento bibliográfico autónomo ou servir de texto introdutório a matérias relacionadas com as tecnologias de tratamento de água para consumo humano.

A multidisciplinaridade que caracteriza esta publicação confere uma oferta formativa diferenciada aos seus mais diretos destinatários e, de certo modo, pretende colmatar a tradicional lacuna de textos desta natureza na formação de profissionais com atividade no domínio da engenharia de saúde pública. A natural subjetividade na priorização dos temas selecionados e do seu enquadramento científico aconselha a consulta de outros elementos bibliográficos se for pretendido um maior aprofundamento de aspetos tratados, nomeadamente os relativos às áreas científicas de Microbiologia e de Química.

O texto está organizado em seis capítulos. No Capítulo 1 apresentam-se implicações técnicas, socioculturais e de saúde pública relacionadas com a natureza dos serviços urbanos de abastecimento de água e de

saneamento. Faz-se uma breve resenha histórica dos avanços verificados na Medicina, na Microbiologia e na Engenharia ao longo dos tempos.

O Capítulo 2 apresenta informação sobre doenças relacionadas com a água, de relevância para a saúde pública, causadas por microrganismos patogénicos. São também apresentados dados estatísticos sobre a incidência de casos de diversas doenças de notificação obrigatória em Portugal.

No Capítulo 3 são referenciados contaminantes inorgânicos, radiológicos e orgânicos presentes na água para consumo e os seus impactos na saúde humana. São também apresentados dados relativos à qualidade química da água consumida em Portugal.

O Capítulo 4 é dedicado a normas legais e a metodologias de controlo da qualidade da água. São inventariados os métodos adotados para o estabelecimento das normas legais nacionais e internacionais e descrevem-se as que vigoram em Portugal.

Os capítulos 5 e 6 descrevem, em duas etapas sucessivas, a metodologia dos planos de segurança da água, tal como proposta pela Organização Mundial da Saúde: na primeira, são expostos os princípios conceptuais e o método de abordagem; na segunda, são tratados aspetos do seu desenvolvimento através de um esquema estruturado de onze módulos e uma proposta de estratégia para a sua implementação a uma escala nacional.

Como último propósito desta publicação, espera-se que ela, de algum modo, sensibilize todos quantos assumem a responsabilidade e o compromisso da urgência de um eficaz combate à pobreza e à desigualdade no acesso a água segura e a saneamento adequado na certeza que, desta forma, se darão passos significativos na melhoria da saúde, bem-estar e dignidade de todos os povos do mundo.

José Manuel Pereira Vieira

Setembro, 2018

Capítulo 1

Água, saneamento e saúde

«A água é o princípio de todas as coisas.»

Tales de Mileto (ca 623 a.C.-ca 546 a.C.)

A estreita relação da saúde e bem-estar das comunidades humanas com o acesso a água segura e com eficazes sistemas de saneamento constitui um fator determinante para o desenvolvimento económico e social da sociedade. Durante muito tempo não se reconheceu que muitas das epidemias registadas ao longo da história da humanidade (a primeira epidemia registada no Egito remonta a 3180 a.C.) eram transmitidas, direta ou indiretamente, através da água. O conhecimento, empiricamente pressentido ou cientificamente comprovado, da íntima conexão de água afetada por contaminação fecal com a transmissão de doenças, tem induzido a uma constante procura de tecnologias para o abastecimento de água segura para o seu consumo.

Os grandes desenvolvimentos científicos registados nos séculos XIX e XX, principalmente os relacionados com avanços na medicina e nas ciências microbiológicas, que identificaram e isolaram microrganismos patogénicos, as suas rotas de transmissão e os efeitos na saúde humana, foram determinantes para as inovações tecnológicas e as alterações radicais no enfrentamento do flagelo das epidemias de origem e veiculação hídrica. Com a introdução da desinfeção em sistemas públicos de abastecimento da água destinada ao consumo humano, no final do século XIX, reduziu-se consideravelmente a propagação da cólera e da febre tifoide,

abrindo-se caminho para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento de água e para a adoção de políticas sanitárias e sociais que constituíram avanços civilizacionais formidáveis.

No entanto, apesar destas inovações, as epidemias de doenças transmitidas pela água continuam na atualidade, em parte porque, em contraste com o abastecimento de água, pouca atenção tem sido dada a garantir adequados sistemas de drenagem e tratamento de esgotos, os quais estão diretamente relacionadas com a saúde pública como fonte de contaminação. Esta é a razão por que, aprendendo com o passado, devemos aproveitar os novos avanços científicos na descoberta de microrganismos patogénicos e na caracterização de emergentes e re-emergentes doenças veiculadas pela água.

Neste capítulo apresentam-se breves apontamentos de enquadramento histórico e da situação atual do abastecimento de água e saneamento a nível mundial e a sua íntima relação com a saúde pública. Perspectivam-se, também, os desafios futuros que a crescente urbanização, a falta de infraestruturas adequadas e as emergentes ameaças químicas e biológicas, colocam à humanidade, numa perspetiva de universalização e sustentabilidade dos sistemas públicos de água e saneamento.

1.1. Breve nota histórica

1.1.1. O abastecimento de água desde a antiguidade

A água é um elemento essencial de sobrevivência da biosfera. As características físicas e químicas extraordinárias da água determinam a sua indispensabilidade para a vida do Homem e de todas as outras formas de vida que, com ele, partilham o planeta Terra.

A estrutura química da molécula de água, constituída por um átomo de oxigénio e dois de hidrogénio (H_2O), unidos por ligações covalentes, fazendo um ângulo de 105° , o que lhe confere um potencial electrostático elevado, justifica as suas propriedades únicas particularmente favoráveis à estrutura e metabolismo celulares dos seres vivos. Na realidade, ao contrário de outras moléculas de estrutura química semelhante (por ex.

H₂S e H₂Se), com ângulos de ligação de cerca de 90°, que são gases nas condições normais de pressão e temperatura, a estrutura de ligação das moléculas de água faz-se por ligações *pontes de hidrogénio*, em que o núcleo positivo de cada um dos átomos de hidrogénio (parcialmente positivos) atrai os eletrões não partilhados de um átomo de oxigénio vizinho (parcialmente negativo), produzindo o desequilíbrio elétrico na molécula.

Esta estrutura molecular da água é também responsável pela grande capacidade de diluição de praticamente todas as substâncias, o que justifica a sua referência como *solvente universal*. Se a esta propriedade se acrescentar a capacidade de transporte pelo seu movimento natural no solo, fácil será entender que a água está disponível na natureza não na sua composição *pura* mas com características específicas decorrentes da sua própria hidrodinâmica e da composição e propriedades dos solos por onde escoar e percola. É assim que ela nos aparece associada a microrganismos patogénicos e outras substâncias, dissolvidas ou em suspensão, o que lhe confere características únicas que determinam a sua utilização para diferentes usos e, em especial, o consumo humano.

A disponibilidade de fontes de água de fácil acessibilidade foi sempre, desde os primeiros tempos da sedentarização das comunidades humanas, uma condição *sine qua non* para a fixação de populações num determinado território, sendo a dimensão dos aglomerados populacionais determinada pela quantidade de água disponível não só para consumo direto mas também para outras utilizações importantes, principalmente para as atividades agrícolas. De facto, a abundância de água, sinal de terra fértil ou boas pastagens, estando diretamente associada à produção de alimentos, desempenhou, desde sempre, um papel estruturante no crescimento civilizacional e no desenvolvimento socioeconómico da humanidade. Por outro lado, a ligação íntima com a água e os seus reservatórios naturais (rios, lagos, oceanos) é responsável por indeléveis marcas identitárias de símbolos, mitos e crenças, que são fontes de inspiração literária e filosófica das diferentes civilizações.

O conhecimento atual, baseado em evidência arqueológica e histórica, permite uma retrospectiva segura e muito interessante sobre os avanços no conhecimento nos domínios da engenharia, da medicina e da microbiologia relacionados com o abastecimento de água para consumo e a saúde humana. Desta retrospectiva, impressiona a similitude de pro-

blemas e propostas de soluções tecnológicas para disponibilizar água própria para consumo humano que se foram desenvolvendo ao longo dos tempos, comprovando a intrínseca ligação da água com a vida, o bem-estar e a saúde.

Há cerca de 10.000 anos deu-se uma alteração revolucionária na vida dos seres humanos que, deixando o modo de vida de caçadores-colectores em comunidades pouco densas, passaram a domesticar animais e a cultivar plantas, tornando possível a sua fixação permanente. Esta nova condição de agricultores sedentários, permitindo, na mesma região, alimentar uma população cerca de 100 vezes superior, deu origem ao desenvolvimento de comunidades mais densas e a um processo crescente de urbanização. Em épocas diferentes, este processo verificou-se em várias partes do globo, assumindo-se, do conhecimento disponível, que teve início no Médio Oriente (Iraque e Síria), espalhando-se a revolução agrícola, a partir daí, pelos vales do Nilo e do Indo.

Há cerca de 5.000 anos, os avanços no conhecimento de fenómenos naturais e na ciência astronómica permitiram passos importantes no controlo e uso da água. Os primeiros esforços para controlar o escoamento das águas naturais foram desenvolvidos no Egito e na Mesopotâmia através da construção de canais de irrigação e de redes de drenagem nos vales dos rios Nilo, Tigre e Eufrates, principalmente para fins agrícolas.

A região da bacia do Mediterrâneo registou um intenso processo de urbanização na Antiguidade (ca. 500 a.C. a 500 d.C.). Estima-se que no princípio do 1.º século da nossa Era, 10 a 20% da população desta região vivesse em zonas urbanas, geralmente de pequena dimensão (5.000 a 10.000 habitantes), localizadas especialmente no Mediterrâneo Oriental, Egito, África do Norte, península Apenina e sul da península Ibérica. Sendo esta região caracterizada por uma baixa pluviosidade, o acesso a água própria para consumo humano constituiu-se, desde o seu início, num pré-requisito para o processo de urbanização.

Em regiões áridas ou semi-áridas, as águas subterrâneas foram utilizadas como fonte de abastecimento tanto para consumo como para irrigação. Há cerca de 3.000 a 5.000 anos, foram desenvolvidos na região da Pérsia (atual Irão) sistemas *Qanat* para a captação de água através de aquedutos subterrâneos de pequena inclinação (Figura 1.1). Estes sistemas, que comportavam já alguma sofisticação tecnológica, foram exten-

samente difundidos pelos territórios do império Aquemênida (Persa), o maior império formado até então, o qual, cerca de 500 a.C., se estendia do vale do Indo, a leste, até à Macedónia e Trácia, a norte e até ao Egito, a ocidente (Figura 1.2).

Figura 1.1A. Esquema de secção transversal de um Qanat

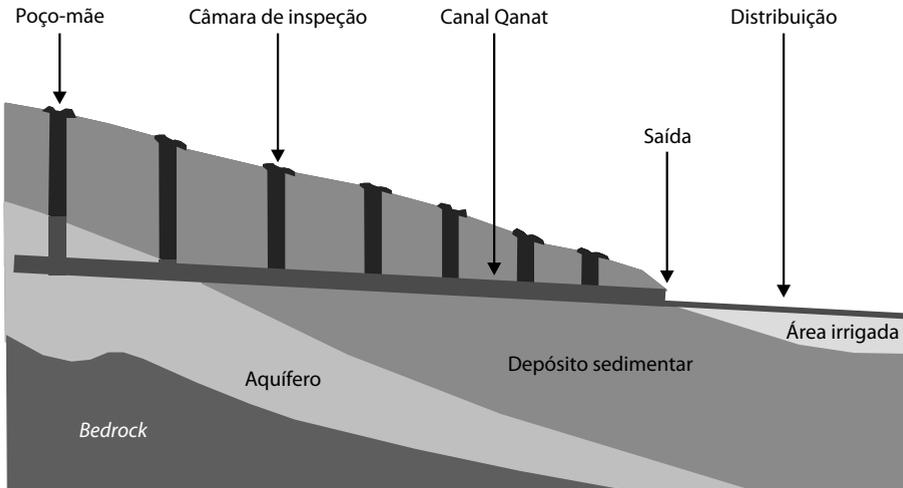


Figura 1.1B. Imagem de reservatório na sua saída (Qanat de Niavarán, Irão)



Fonte: User:Anton Gutsunaev / Wikimedia Commons / CC-BY-SA-3.0.

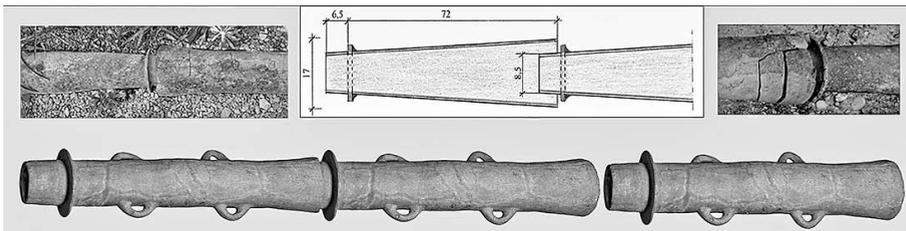
Figura 1.2. Império Persa no seu período de maior extensão (500 a.C.)



Fonte: User:Anton Gutsunaev / Wikimedia Commons / CC-BY-SA-3.0.

Durante a Idade do Bronze (ca. 2800-1100 a.C.) a civilização Minoica desenvolveu e aplicou, na ilha de Creta, conhecimentos de hidráulica urbana no abastecimento de água a palácios, cidades e vilas, implementando as mais avançadas tecnologias na construção de aquedutos para transporte de água e, provavelmente, os primeiros tanques de sedimentação e filtros de areia.^[1] O sistema de abastecimento a Knossos atingiu uma perfeição técnica assinalável com a adução da água através de um aqueduto em conduta tubular e uma rede de distribuição para o palácio e para a cidade em condutas de terracota com escoamento sob pressão (Figura 1.3).

Figura 1.3. Vestígios de conduta em terracota para a distribuição de água em Knossos (Creta)



Fonte: User:Le plombier du désert / Wikimedia Commons / CC-BY-SA-4.0.



JOSÉ MANUEL PEREIRA VIEIRA é Professor Catedrático de Engenharia Civil da Universidade do Minho (UMinho) e Professor convidado nas Universidades de Coimbra, Santiago de Compostela e São Paulo. Licenciado em Engenharia Civil pela FEUP, Mestre em Engenharia Sanitária pelo IHE Delft (Holanda) e Doutor em Engenharia Civil pela UMinho. É especialista em Engenharia Sanitária e em Hidráulica e Recursos Hídricos, e possui o título Profissional de Engenheiro Conselheiro da Ordem dos Engenheiros. Ensina e

investiga nos domínios de Hidráulica, Recursos Hídricos e Engenharia de Saúde Pública. Assumiu responsabilidades na criação de cursos de pós-graduação (mestrados em Engenharia Urbana e em Gestão Sustentável do Ciclo Urbano da Água). Coordenou e participou em projetos de investigação e desenvolvimento de âmbito nacional e internacional. Orientou mestrados e doutoramentos nas universidades do Minho, Coimbra e Viçosa (Brasil) e pós-doutora-

mentos na UMinho. Organizou variadas conferências científicas de âmbito nacional e internacional, em Portugal, Espanha, Brasil e Reino Unido. Foi diretor da revista *Águas & Resíduos* e tem sido revisor de artigos científicos de revistas internacionais. É autor de mais de duas centenas de artigos e comunicações publicadas em revistas e em atas de congressos de âmbito nacional e internacional e é orador convidado para comunicações e palestras em conferências nacionais e internacionais. Na UMinho desempenhou funções de Diretor do Departamento, do curso Doutoral e do centro de investigação em Engenharia Civil e foi membro das comissões instaladoras das Escolas de Arquitetura e Ciências da Saúde. Foi Pró-Reitor e Vice-Reitor da UMinho e é membro do Conselho da sua Escola de Engenharia. Destaca-se, ainda, a sua atividade como líder do Grupo de Especialistas em Planeamento de Segurança da Água da IWA – International Water Association, Presidente da Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental, membro do Conselho Nacional da Água, vogal do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes, Vice-Presidente Nacional da Ordem dos Engenheiros, membro do Executive Council da WFEO – World Federation of Engineering Organizations e Presidente da FEANI-Federação Europeia das Associações Nacionais de Engenharia.

A água é o composto mais abundante do corpo humano. Elemento essencial para a vida, a sua importância dramática revela-se em períodos em que escasseia, não existe ou não tem qualidade.

Pelas suas características muito especiais, a água (solvente universal) constitui-se como veículo preferencial para a transmissão de doenças para o homem, quer pelo consumo de água contaminada quer por deficientes sistemas de saneamento e higiene. Com os avanços científicos nos domínios da medicina e da microbiologia, principalmente a partir de meados do século XIX, tem sido possível identificar microrganismos patogénicos, substâncias químicas e elementos radiológicos, bem como determinar os seus efeitos na saúde humana, o que tem proporcionado o desenvolvimento e implementação de inovações tecnológicas e infraestruturais cada vez mais eficazes no enfrentamento destas ameaças.

O autor, com vasta experiência universitária no ensino da Engenharia Sanitária e Ambiental, apresenta, com rigor científico e de uma forma simples e pedagógica, uma visão holística sobre os mais recentes e relevantes desenvolvimentos relacionados com a qualidade da água destinada ao consumo humano e as metodologias

para o seu controlo, componente fundamental para qualquer política pública de saúde.

Pelo seu conteúdo, pretende-se que o livro tenha uma audiência alargada não só a estudantes e a profissionais, mas também a outros leitores interessados na «umbilical ligação» entre a água e a saúde pública.

Em seis capítulos são apresentadas implicações técnicas, socioculturais e de saúde pública relacionadas com a natureza dos serviços urbanos de abastecimento de água e de saneamento. Neste contexto, faz-se uma breve resenha histórica dos avanços verificados na Medicina, na Microbiologia e na Engenharia ao longo dos tempos. Apresenta-se informação sobre doenças relacionadas com a água causadas tanto por microrganismos patogénicos como pela presença de contaminantes inorgânicos, radiológicos e orgânicos. É dada informação sobre incidência de casos de doenças de notificação obrigatória em Portugal e sobre qualidade química da água consumida em Portugal. São, ainda, apresentadas normas legais e metodologias de controlo da qualidade da água, bem como o enquadramento conceptual, metodológico e de desenvolvimento de planos de segurança da água, tal como proposto pela Organização Mundial da Saúde.

ISBN 978-972-618-969-5



9 789726 189695