

# Saneamento para estudantes e profissionais de saúde pública

*Wanderley  
da Silva Paganini*

*Miriam  
Moreira Bocchiglieri*

*Leonardo  
Machado Pitombo*

USP



# Saneamento para estudantes e profissionais de saúde pública

Wanderley da Silva Paganini  
Miriam Moreira Bocchiglieri  
Leonardo Machado Pitombo

[DOI 10.11606/9786588304129](https://doi.org/10.11606/9786588304129)

USP



Universidade de São Paulo  
Faculdade de Saúde Pública  
São Paulo  
2023



“Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a Licença Creative Commons indicada.”

Os autores são exclusivamente responsáveis pelas ideias, conceitos, citações e imagens apresentadas neste livro.

#### UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: Carlos Gilberto Carlotti Junior  
Vice-Reitora: Maria Arminda do Nascimento Arruda

#### FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

Diretor: José Leopoldo Ferreira Antunes  
Vice-Diretora: Patricia Constante Jaime

#### CONSELHO EDITORIAL

Angela Maria Belloni Cuenca (Presidente)  
Carinne Magnago  
Denise Pimentel Bergamaschi  
Dirce Maria Lobo Marchioni  
Fabiola Zioni  
Gizelton Pereira Alencar  
José Luis Negrão Mucci  
Maria Cristina da Costa Marques  
Maria do Carmo Avamilano Alvarez  
Maria Tereza Pepe Razzolini  
Patricia Constante Jaime

**Produção Editorial**  
Edu Ambiental

#### Fotos da capa:

Acervo SABESP; Alex Ribeiro (Visor Mágico Fotografia)

#### Apoio técnico:

Equipe da Biblioteca da  
Faculdade de Saúde Pública da USP  
Av. Dr. Arnaldo, 715  
01246-904 – Cerqueira César – São Paulo – SP  
<http://www.biblioteca.fsp.usp.br>  
markt@fsp.usp.br

### Catálogo na Publicação Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública

P129 Paganini, Wanderley da Silva  
Saneamento para estudantes e profissionais de saúde pública [recurso eletrônico] / Wanderley da Silva Paganini, Miriam Moreira Bocchiglieri, Leonardo Machado Pitombo. -- São Paulo : Faculdade de Saúde Pública da USP, 2023.

213 p. : il. ; PDF

ISBN 978-65-88304-12-9 (eletrônico)

DOI 10.11606/9786588304129

1. Saneamento. 2. Meio Ambiente e Saúde Pública. 3. Abastecimento de Água. 4. Esgotos. 5. Resíduos Sólidos. 6. Legislação Ambiental. 7. Educação em Saúde. I. Bocchiglieri, Miriam Moreira. II. Pitombo, Leonardo Machado. III. Título.

CDD 614.7

# Sumário

<b>Prefácio</b>	<b>X</b>
-----------------	----------

<b>Apresentação</b>	<b>XII</b>
---------------------	------------

## Capítulo 1

<b>O que é saneamento?</b>	<b>1</b>
1.1 <i>A transversalidade das ações de saneamento</i>	1
1.2 <i>Saneamento conforme a Lei 11.445/2007</i>	2
1.3 <i>O ciclo da água no saneamento</i>	2
1.4 <i>O ciclo do saneamento e suas interfaces com os recursos hídricos</i>	4
1.5 <i>A interdependência hidrográfica</i>	6

## Capítulo 2

<b>Saneamento, saúde e meio ambiente</b>	<b>8</b>
2.1 <i>Saneamento como indicador de qualidade de vida</i>	8
2.2 <i>Serviços de Saneamento - Índices de Atendimento no Brasil</i>	10
2.2.1 <i>Água</i>	11
2.2.2 <i>Esgoto</i>	12
2.3 <i>A interface entre Saúde, Saneamento e Meio Ambiente</i>	12
2.4 <i>Índice de Mortalidade Infantil</i>	15
2.5 <i>Transmissão de doenças relacionadas ao saneamento</i>	18
2.5.1 <i>Formas de transmissão das doenças de veiculação hídrica</i>	20
2.5.1.1 <i>Por ingestão de água contaminada</i>	20
2.5.1.2 <i>Por contato da pele/mucosas com água contaminada</i>	20
2.5.1.3 <i>Por falta de água ou de rede de esgoto</i>	20
2.5.1.4 <i>Por insetos/vetores que se desenvolvem na água e dejetos</i>	20
2.6 <i>Quantificação do impacto dos agravos à saúde</i>	21
2.8 <i>Promoção da saúde, saneamento e higiene</i>	32
2.8.1 <i>Sistemas de saneamento</i>	32
2.8.2 <i>Práticas de higiene</i>	33
2.9 <i>Poluição das águas e saúde pública</i>	34
2.9.1 <i>Conceito de poluição</i>	34
2.9.2 <i>Poluição pontual</i>	35
2.9.3 <i>Poluição difusa</i>	36
2.9.4 <i>Poluição e contaminação da água: dois conceitos distintos</i>	37
2.9.5 <i>Tipos de Poluição</i>	38
2.9.6 <i>Estações de tratamento de esgotos como barreiras sanitárias e ambientais</i>	39
2.10 <i>Eutrofização das águas e seus impactos ambientais e à saúde</i>	40
2.11 <i>Universalização do saneamento</i>	43

**Capítulo 3**

<b>Sistemas de Abastecimento de Água</b>	44
3.1 <i>Sistemas de abastecimento e qualidade da água</i>	44
3.1.1 <i>Sistemas alternativos de abastecimento</i>	44
3.1.2 <i>Garantia de qualidade da água e integridade do sistema</i>	44
3.2 <i>Usos da água</i>	45
3.3 <i>Classificação das águas naturais</i>	46
3.4 <i>Características / propriedades da água</i>	48
3.4.1 <i>Características Físicas</i>	48
3.4.1.1 <i>Cor</i>	48
3.4.1.2 <i>Turbidez</i>	48
3.4.1.3 <i>Odor e Sabor</i>	48
3.4.1.4 <i>Temperatura</i>	49
3.4.2 <i>Características Químicas</i>	49
3.4.2.1 <i>Salinidade</i>	49
3.4.2.2 <i>Dureza</i>	49
3.4.2.3 <i>Alcalinidade</i>	50
3.4.2.4 <i>Agressividade</i>	50
3.4.2.5 <i>Ferro e Manganês</i>	50
3.4.3 <i>Características Biológicas</i>	51
3.5 <i>Partes constituintes de um sistema de abastecimento de água</i>	51
3.5.1 <i>Manancial para abastecimento público</i>	51
3.5.1.1 <i>Classificação dos mananciais</i>	51
3.5.1.2 <i>Qualidade do manancial: um desafio ambiental da atualidade</i>	53
3.5.2 <i>Captação</i>	55
3.5.2.1 <i>Captação de Água de Superfície</i>	55
3.5.2.2 <i>Captação de Águas Subterrâneas</i>	56
3.5.3 <i>Adução</i>	57
3.5.4 <i>Tratamento de água para abastecimento público</i>	57
3.5.4.1 <i>Sistema convencional de tratamento de água</i>	60
3.5.4.2 <i>Sistemas de tratamento avançado</i>	68
3.5.5 <i>Reservação de Água</i>	70
3.5.6 <i>Distribuição de Água</i>	70
3.5.7 <i>Instalações prediais</i>	71

**Capítulo 4**

<b>Sistemas de Esgotos Sanitários</b>	72
4.1 <i>A composição dos esgotos</i>	72
4.2 <i>Características físicas</i>	73
4.2.1 <i>Vazão dos esgotos</i>	73
4.2.2 <i>Matéria sólida nos esgotos</i>	74
4.2.3 <i>Temperatura</i>	75

4.2.4 Odor.....	75
4.2.5 Cor .....	76
4.2.6 Turbidez .....	76
4.3 Características Químicas.....	76
4.3.1 pH .....	76
4.3.2 Matéria orgânica .....	76
4.3.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO <sub>5,20</sub> .....	77
4.3.2.2 Demanda Química de Oxigênio - DQO .....	78
4.3.2.3 Carbono Orgânico Total - COT .....	79
4.3.3 Oxigênio Dissolvido - OD .....	79
4.3.4 Nitrogênio.....	79
4.3.5 Fósforo .....	80
4.4 Características biológicas.....	81
4.4.1 Coliformes termotolerantes .....	81
4.4.2 <i>Escherichia coli</i> ( <i>E. coli</i> ) .....	82
4.4.3 Enterococos .....	82
4.4.4 Protozoários (cistos) - <i>Giardia spp.</i> e <i>Cryptosporidium spp.</i> .....	82
4.4.5 Helmintos (ovos).....	83
4.5 Características dos Esgotos.....	83
4.6 Sistemas individuais e coletivos .....	83
4.6.1 Sistema individual .....	83
4.6.2 Sistema Coletivo.....	84
4.7 Partes constituintes de um Sistema de Esgotos Sanitários.....	84
4.8 Tipos de sistemas de coleta de esgotos sanitários .....	84
4.9 Finalidades do tratamento de esgoto.....	86
4.9.1 Fatores que interferem no tratamento .....	86
4.9.2 Níveis de tratamento.....	87
4.9.2.1 Tratamento Preliminar .....	87
4.9.2.2 Tratamento Primário .....	88
4.9.2.3 Tratamento Secundário.....	88
4.9.2.4 Tratamento avançado ou terciário.....	88
4.10 A autodepuração dos corpos d'água.....	88
4.10.1 As Zonas de autodepuração .....	89
4.11 Tratamento biológico: uma cópia otimizada da natureza .....	90
4.11.1 Fossa séptica.....	91
4.11.2 Fossa-filtro .....	94
4.11.3 Tanque Imhoff.....	94
4.11.4 Filtro biológico .....	95
4.11.5 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA).....	96
4.11.6 Lagoa de estabilização.....	98
4.11.7 Sistema australiano .....	98
4.11.8 Lagoas anaeróbias .....	100
4.11.9 Lagoas facultativas.....	101

4.11.10 Lagoas estritamente aeróbias.....	102
4.11.11 Lagoas de maturação .....	102
4.11.12 Lagoas de polimento.....	103
4.11.13 Lagoas aeradas facultativas.....	104
4.11.14 Lagoas aeradas de mistura completa .....	104
4.11.15 Lodos ativados convencional.....	106
4.11.16 Lodos ativados por Aeração prolongada .....	109
4.11.17 Disposição no solo e Tratamento em nível terciário: uma reflexão .....	109

## Capítulo 5

<b>Sistemas de Drenagem Urbana</b> .....	<b>113</b>
5.1 Uma mudança de paradigma.....	113
5.2 Águas pluviais e drenagem urbana .....	113
5.3 Urbanização e drenagem .....	114
5.4 Controle da drenagem: abordagem clássica X abordagem moderna.....	116
5.4.1 Abordagem clássica: canalização/escoamento .....	117
5.4.2 Abordagem moderna.....	117
5.5 Políticas públicas .....	120
5.6 Áreas alagadas e riscos à saúde pública .....	121

## Capítulo 6

<b>Sistemas de Resíduos Sólidos</b> .....	<b>123</b>
6.1 Resíduos sólidos: uma nova fonte de recursos.....	123
6.2 Definição de resíduos sólidos .....	123
6.3 Panorama e características dos resíduos sólidos domiciliares e não domiciliares .....	124
6.3.1 Resíduos domiciliares .....	125
6.3.2 Resíduos da construção civil .....	127
6.3.3 Resíduos de serviços de saúde.....	128
6.4 Impactos ocasionados pelos resíduos sólidos.....	128
6.4.1 Poluição do solo causada por resíduos sólidos .....	129
6.4.2 Poluição do ar .....	130
6.4.2.1 Metano - CH <sub>4</sub> .....	130
6.4.2.2 Queima de resíduos sólidos .....	131
6.4.3 Poluição da água causada por resíduos sólidos .....	132
6.4.4 Poluição visual causada por Resíduos Sólidos.....	134
6.5 Classificação dos resíduos sólidos .....	136
6.5.1 Resíduos Classe I ou perigosos.....	137
6.5.2 Resíduos Classe II A ou não inertes.....	138
6.5.3 Resíduos Classe II B ou inertes.....	139
6.6 Sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos.....	139
6.6.1 Acondicionamento.....	140
6.6.2 Coleta.....	141

6.6.3 Transporte .....	142
6.6.3.1 Transporte de resíduos sólidos urbanos domésticos .....	143
6.6.3.2 Transporte de resíduos de serviços de saúde .....	144
6.6.4 Métodos de tratamento de resíduos sólidos.....	144
6.6.4.1 Reciclagem.....	144
6.6.4.2 Compostagem .....	145
6.6.4.3 Incineração.....	147
6.6.5 Disposição final.....	147
6.6.5.1 Lixões.....	148
6.6.5.2 Aterros controlados.....	148
6.6.5.3 Aterros sanitários .....	149
6.6.5.4 Aterros sanitários em valas .....	149
6.7 Resíduos oriundos dos serviços de saneamento – Lodos .....	150
6.7.1 Destinação final de lodo: aspectos legais, tecnológicos e de segurança operacional .....	151
6.7.2 Usos benéficos.....	154
6.7.2.1 Geração de energia .....	154
6.7.2.2 Uso agrícola .....	155
6.7.2.3 Construção Civil .....	157
6.7.2.4 Co-processamento .....	157

## Capítulo 7

### Legislação Ambiental e de Recursos Hídricos ..... 159

7.1 Legislação : instrumento fundamental para disciplinar o uso dos recursos naturais e proteger o meio ambiente .....	159
--	-----

## Capítulo 8

### Educação Sanitária e Ambiental ..... 179

8.1 Conhecimento e ação para a construção de valores que contribuem para a saúde e o bem-estar individual e coletivo.....	179
8.2 Saneamento, Saúde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Social .....	180
8.3 Educação e Desenvolvimento Sustentável.....	181
8.3.1 A Agenda 2030 .....	182
8.3.1.1 Educação de Qualidade .....	182
8.4 As barreiras sanitárias e a efetividade do saneamento como ferramenta de promoção da saúde pública.....	182
9.1. Educação Sanitária e Ambiental - Uma frente de atuação na prestação de serviços de saneamento .....	185

## Capítulo 9

### Projetos de Saneamento e Desenvolvimento Social ..... 185

9.1.1 Escassez hídrica, uso racional e cuidados com a água para consumo humano .....	186
--	-----

9.1.2 Saúde, qualidade da água e acesso ao saneamento .....	187
9.1.3 Poluir é um ato; despoluir é um processo .....	188
9.1.4 Utilização das instalações do sistema público de esgotos .....	189
9.1.4.1 Adesão ao sistema de esgotos – a efetivação da ligação .....	189
9.1.4.2 Esgotos em galerias de águas pluviais e Águas pluviais no sistema de esgotos .....	190
9.1.5 Sanear e Despoluir.....	191
9.2 O Profissional de Saúde Pública e o Saneamento.....	192

**Referências** ..... **193**

# Prefácio

Durante mais de quarenta anos, como biólogo e professor, formalmente trabalhei no abrangente universo da saúde pública, meio ambiente e saneamento. Contudo, atualmente já quase nonagenário e retirado, continuo a acompanhar o desenvolvimento do setor, participando esporadicamente de algum encontro técnico e para usar a expressão contemporânea seguindo a narrativa atual de uma ou outra “live”.

Pois bem, devo dizer que fui com agradável e honrosa surpresa convidado pelos professores doutores Wanderley, Miriam e Leonardo a prefaciar esta obra intitulada “Saneamento para Estudantes e Profissionais de Saúde”.

Percorrendo os nove capítulos, desde “O que é Saneamento” até “Projetos de Saneamento e Desenvolvimento Social” é possível verificar o quanto é importante decodificar os meandros científicos e técnicos que às vezes complicam e impedem a compreensão àqueles que estão se iniciando na faina de melhorar as condições de saúde da população e mesmo aos que não estão diretamente interessados em se tornar profissionais especializados no setor.

Porém, amplo o interesse que o conteúdo do livro possa despertar, lembrando que há Cursos de Verão na Faculdade de Saúde Pública da USP, bem como em outras entidades, destinados à terceira idade, em que a apresentação desses conceitos básicos tão bem explicitados, viriam contribuir firmando uma ideia cada vez mais voltada à proteção e preservação ambiental.

Como se percebe em boa hora este livro, que me parece iniciativa inédita, e será disponibilizado gratuitamente nas redes sociais, constitui uma consistente contribuição ao Saneamento e Saúde Pública, simples motivos que possibilitam a sua indicação, não somente aos que militam no setor, mas também àqueles que tem interesse na proteção e preservação, da água, da saúde pública e por que não dizer do meio ambiente.

Mas outro aspecto que deve ser ressaltado é o fato de o livro ter sido preparado, produzido, escrito e editado por três exímios professores, que têm anos e anos de experiência no campo prático, na bancada de um laboratório e no exercício do magistério. E esse saber não livresco, adquirido no enfrentamento das incertezas do dia a dia, associados à leitura e interpretação dos “clássicos” da literatura nacional e internacional é que conferem à obra a credibilidade que tanto se necessita quando renomados profissionais decidem produzir uma obra que facilite o manuseio dos iniciantes e leigos que desejam adquirir conhecimento: o Saneamento e Saúde Pública ao alcance de todos.

## Prefácio

Por derradeiro expresso minha alegria, não só por ter sido contemplado com a difícil, mas prazerosa tarefa de prefaciar tão importante obra, mas sobretudo por saber que o saneamento, a saúde pública e enfim o meio ambiente, ainda podem contar com tão excelentes profissionais, dando continuidade, à labuta dos pioneiros como Francisco Rodrigues Saturnino de Brito, Azevedo Netto, Samuel Murgel Branco e tantos outros.

*Aristides Almeida Rocha*

# Apresentação

A proposta do livro “Saneamento para Estudantes e Profissionais de Saúde Pública” surgiu a partir de nossa vivência como professor da Universidade de São Paulo e em paralelo, de quase 45 anos dedicados ao saneamento, trabalhando na Sabesp. A junção dessas duas frentes possibilitou uma visão clara das necessidades do mercado e das lacunas a serem preenchidas na formação do aluno de graduação em Saúde Pública, considerando que a grande maioria dos livros e artigos sobre o tema “saneamento” é destinada aos engenheiros e técnicos, portanto, os conteúdos e a linguagem empregada são extremamente técnicos e específicos para a área de engenharia, não sendo adequada ao público que queremos atingir.

Deste modo, nosso trabalho não tem a pretensão de aprofundar os temas, mas sim de introduzir os estudantes e os profissionais da saúde nos aspectos básicos que envolvem o trinômio “Saúde, Saneamento e Ambiente”.

Importante vertente da formação do profissional em Saúde Pública está relacionada ao conhecimento da natureza do saneamento e sua finalidade, uma vez que conceitualmente, o saneamento ambiental integra um conjunto de ações que visam proporcionar níveis crescentes de salubridade.

A ideia foi somar conhecimentos básicos a respeito do saneamento aos conhecimentos do senso comum, ou seja, introduzindo o leitor aos poucos no assunto, desmistificando a visão errônea de que o assunto é complexo e somente para técnicos do setor. A expectativa é de que as pessoas possam ter contato com este trabalho, e se estimulem a utilizar as ações de saneamento como vetores da melhoria da qualidade de vida, que percebam que saneamento não se faz somente com obras, mas também e principalmente com a educação sanitária e ambiental, promovendo o envolvimento da sociedade.

O saneamento, ainda hoje, está diretamente associado à execução de obras, mas a prática tem mostrado que as obras são para sanear, e somente com educação e o envolvimento da sociedade é possível despoluir, ou seja, a disponibilização do acesso à infraestrutura sanitária não é suficiente para promover a melhoria das condições ambientais e da qualidade de vida, sendo inserido nesse contexto, o profissional em saúde pública.

É sob esse olhar que apresentamos este trabalho, e considerando nossas observações durante as aulas e palestras, e ainda, considerando a multidisciplinaridade e a dimensão coletiva da Saúde Pública, com inúmeras possibilidades de atuação destes profissionais, buscamos oferecer uma referência básica, apresentando conceitos fundamentais para que compreendam que saneamento é assunto de todos e para todos, principalmente quando está a serviço das populações vulneráveis, que em sua maioria, vivem em moradias subnormais, carentes de acesso ao saneamento.

## Apresentação

O nome do livro “Saneamento para Estudantes e Profissionais de Saúde Pública” não foi escolhido ao acaso, pois acreditamos que ao compreender a abrangência dos benefícios do saneamento, deste público podem surgir grandes líderes e entusiastas em prol da qualidade de vida da população, tendo como ferramenta as ações de saneamento, simples, mas potentes e perenes através dos tempos e das gerações.

*Wanderley da Silva Paganini*

# Capítulo 1

## O que é saneamento?

### 1.1 A transversalidade das ações de saneamento

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o saneamento é reconhecido como um direito humano básico, e consiste no gerenciamento ou controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre seu bem-estar físico, mental ou social (WHO, 2018). Com base nessa definição, pode-se questionar: tudo é saneamento? Mais adequado seria afirmar que “saneamento é tudo que afeta o homem”, pois ele só irá cumprir efetivamente a sua função, de promover condições adequadas de vida para a população, a partir do desenvolvimento eficiente e eficaz de um conjunto de ações integradas relacionadas à habitação, transporte, saúde, abastecimento de água, energia elétrica, drenagem, controle de vetores, resíduos sólidos, entre outras, conforme mostra a Figura 1.



**Figura 1.** Transversalidade das Ações de Saneamento.

Fonte: Elaborado pelos autores

## 1.2 Saneamento conforme a Lei 11.445/2007

Tendo-se compreendido a abrangente dimensão do saneamento proposta pela OMS, a “Lei do Saneamento”, nome atribuído à Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007)<sup>1</sup>, que estabelece as diretrizes básicas para o saneamento em nível nacional, de modo mais restrito, considera “saneamento básico” como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição (BRASIL, 2020);
- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente (BRASIL, 2020);
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana (BRASIL, 2020); e
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2020).

De forma didática, esses elementos serão abordados isoladamente nos capítulos deste livro, mas é fundamental ter como referência a visão sistêmica do saneamento, com ênfase ao ciclo da água no saneamento.

## 1.3 O ciclo da água no saneamento

O ciclo da água no saneamento começa e termina no corpo hídrico, que pode ser utilizado como manancial para abastecimento público ou como corpo receptor de efluentes.

De um manancial retira-se a água para abastecer as populações. Essa água captada passa por tratamento para atender aos requisitos legais de potabilidade, sendo reservada e distribuída para consumo humano.

---

<sup>1</sup> Alterada pela Lei 14.026 de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País...

## O que é saneamento?

A partir do uso da água são formados os esgotos que seguem para o sistema de esgotos sanitários. Nesse sistema, as águas residuárias (esgotos) são coletadas, afastadas e tratadas, sendo dispostas em um corpo hídrico receptor. Entretanto, esse mesmo corpo d'água que recebe os esgotos após o tratamento, potencialmente será manancial para abastecimento de água de outra cidade, situada em ponto mais abaixo, a jusante desse ponto de lançamento de esgoto tratado, fechando assim o ciclo da água no saneamento, conforme ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Ciclo da Água no Saneamento: a múltipla função dos corpos d'água.

Fonte: Elaborado pelos autores

Compreender a dinâmica representada na Figura 2 é a base para o entendimento da relação entre saneamento e saúde pública, uma vez que os corpos d'água, que são mananciais para abastecimento público, são passíveis de receber contribuição de fontes de poluição diversas. Essas contribuições podem alcançar os corpos hídricos pelo lançamento direto na água, como os despejos de efluentes industriais e sanitários sem tratamento, podendo também ser transportadas por outros meios, uma vez que substâncias presentes no ar ou no solo, especialmente os resíduos sólidos, podem alcançar os corpos hídricos, carreados pelas chuvas.

Tais substâncias ou elementos lançados inadequadamente em coleções hídricas acarretam poluição física, química, bioquímica e biológica, provocando efeitos adversos na sua fauna e flora, comprometendo a sua utilização para fins mais nobres, podendo implicar em prejuízos à saúde pública.

O ciclo da água no saneamento é diretamente impactado pelas atividades humanas, da mesma forma que o ciclo hidrológico, ressaltando-se que por ser uma interferência tão significativa, alguns autores passaram a se referir ao ciclo hidrológico como um ciclo hidrosocial, suscetível às pressões decorrentes do crescimento da população, da urbanização, da atividade industrial e agrícola, entre outros.

## 1.4 O ciclo do saneamento e suas interfaces com os recursos hídricos

O ciclo do saneamento, apresentado na Figura 3, tem uma relação direta com os recursos hídricos, e vai afetar diretamente a saúde pública e ambiental, contribuindo para o desenvolvimento humano e para o equilíbrio e manutenção de um meio ambiente saudável. A seguir apresenta-se uma breve descrição dos sistemas de água, esgotos, resíduos sólidos e drenagem, ressaltando as interfaces com os recursos hídricos, assunto que será discutido em detalhes nos capítulos que seguem.



**Figura 3.** Ciclo do Saneamento: Água, Esgotos, Resíduos e Drenagem.

Fonte: Elaborado pelos autores

### a) Sistemas de Abastecimento de Água e Recursos Hídricos

Um sistema de abastecimento de água começa com a captação da água bruta nos mananciais, matéria prima a ser processada em uma Estação de Tratamento de Água (ETA). É intuitivo perceber que a qualidade da água do manancial pode afetar todo o sistema, desde o início do processo, podendo impactar até o consumidor final, pois o custo do tratamento é diretamente proporcional à qualidade da água bruta. Quando a água bruta não é de boa qualidade, o consumo de produtos químicos utilizado no tratamento aumenta significativamente, assim como podem ser requeridas tecnologias complementares para garantir a qualidade da água distribuída, elevando o custo do tratamento.

### b) Sistemas de Esgotos Sanitários e Recursos Hídricos

Num sistema de esgoto sanitário, a disposição final dos efluentes tratados em um corpo d'água receptor vai afetar a qualidade do corpo hídrico. Conforme a legislação vigente, esse lançamento não deve causar alterações que possam prejudicar a qualidade das águas do corpo receptor, fora da zona de mistura<sup>2</sup>, inviabilizando os usos praticados e previstos para essas águas. É interessante notar que, especialmente nas situações em que o corpo receptor já apresenta qualidade comprometida a montante do lançamento, o recebimento de um efluente tratado pode acarretar melhoria na qualidade da água que recebe esse lançamento. O sistema de esgotos provoca alterações no corpo d'água pelo lançamento dos efluentes das estações, mas é ao mesmo tempo influenciado por ele, pois as características do corpo hídrico receptor são variáveis determinantes na concepção de uma estação de tratamento de esgotos, pois os processos a serem empregados no tratamento deverão alcançar níveis de eficiência que permitam que o lançamento dos efluentes tratados não afete negativamente a qualidade das águas receptoras.

### c) Sistemas de Resíduos Sólidos e Recursos Hídricos

Os sistemas de resíduos sólidos também irão afetar os corpos hídricos, pois se o sistema de varrição e coleta de resíduos sólidos não for adequado e suficiente, o resíduo não coletado poderá atingir o corpo receptor, transportado pelo sistema de drenagem urbana por ocasião das chuvas. Além disso, sistemas inadequados de disposição final de resíduos sólidos também podem afetar a qualidade dos recursos hídricos, pois esses resíduos quando lançados diretamente no solo, sem qualquer critério, vão causar poluição do solo, podendo também alcançar o lençol freático ou as águas superficiais por escoamento durante as chuvas. Provavelmente a contaminação das águas superficiais e subterrâneas oriunda dos depósitos de resíduos é um dos mais significativos problemas ambientais e de saúde pública da atualidade (NIHONMATSU, 2005).

### d) Sistemas de Drenagem e Recursos Hídricos

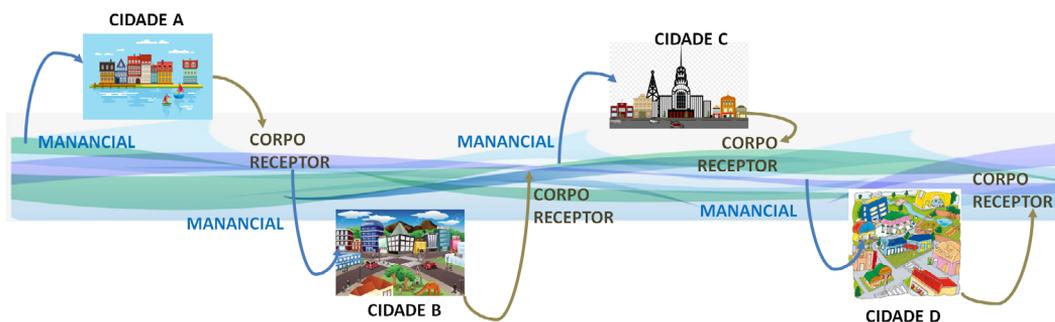
Os sistemas de drenagem, conforme apontado no item anterior, constituem um elemento de ligação entre os resíduos sólidos não coletados e os recursos hídricos. Também podem quando transportar esgotos que são indevidamente ligados nas galerias de águas pluviais que compõem os sistemas de drenagem urbana, causando poluição hídrica.

---

<sup>2</sup> Zona de mistura: De acordo com a Resolução CONAMA nº430/2011, a zona de mistura corresponde à região do corpo receptor, estimada com base em modelos teóricos aceitos pelo órgão ambiental competente, que se estende do ponto do lançamento do efluente, e delimitada pela superfície em que é atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos e químicos, bem como o equilíbrio biológico do efluente e os do corpo receptor, sendo específica para cada parâmetro.

## 1.5 A interdependência hidrográfica

A dinâmica observada nos corpos hídricos, que ora desempenham o papel de corpos receptores de efluentes, ora são mananciais para abastecimento público para as comunidades a jusante, estabelece a chamada interdependência hidrográfica entre os centros urbanos, conforme mostra a Figura 4 (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).



**Figura 4.** Interdependência hidrográfica.

Fonte: Elaborado pelos autores

Observando a Figura 4, é fácil notar que a água captada e utilizada pela “Cidade A” precisa ser tratada de forma adequada antes de ser lançada no corpo receptor, pois essa mesma água será utilizada como manancial de abastecimento para a “Cidade B”, e assim sucessivamente.

Portanto, se o ciclo da água no saneamento não for operacionalizado corretamente, as comunidades a jusante serão obrigadas a captar água em corpos hídricos com qualidade comprometida, e não em mananciais adequados. Quando isso ocorre, todo o sistema de abastecimento de água pode ser afetado, pois as tecnologias de tratamento convencional usualmente empregadas, mais simples e acessíveis, podem se tornar insuficientes para garantir a qualidade da água requerida para o abastecimento público. Nesses casos, tecnologias avançadas e mais caras podem ser necessárias (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2021).

O conceito de interdependência hidrográfica é muito simples, mas é a base de uma das mais complexas questões relacionadas à gestão de recursos hídricos. Observando a Figura 4, fica fácil compreender que se a cidade A não tratar seus esgotos causará impacto na qualidade da água, podendo comprometer a sua utilização pela cidade B, e assim, sucessivamente. Entretanto, não basta que cada cidade administre de forma isolada as questões relacionadas aos recursos hídricos, uma vez que ações isoladas não garantem a melhoria do corpo hídrico, pois mesmo que a cidade C trate os seus esgotos, a qualidade

## O que é saneamento?

do corpo d'água novamente ficará comprometida, caso a cidade D lance seus esgotos seu tratamento.

A lógica do saneamento mostra que as ações destinadas à melhoria da qualidade das águas são mais efetivas se implantadas de montante para jusante, ou seja, dos locais situados a partir da nascente, seguindo em direção a foz do rio. Entretanto, a escassez de recursos para o saneamento, e outras questões ligadas aos múltiplos usos da água numa bacia hidrográfica, e aos interesses distintos de cada usuário, não contribuem para a concretização das ações nessa sequência lógica.

# Capítulo 2

## Saneamento, saúde e meio ambiente

### 2.1 Saneamento como indicador de qualidade de vida

Tendo-se a qualidade da vida humana como questão central, saneamento, saúde e meio ambiente são elementos inter-relacionados, dependentes e indissociáveis. O conceito de saúde, bastante difundido pela OMS, tem grande amplitude e considera o completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de doenças e enfermidades (WHO, 2018). Para a promoção da saúde pública são necessárias medidas e estratégias de alcance coletivo e de motivação da população, sendo que tais medidas devem contemplar a abrangência, as interfaces e a diversidade dos fatores envolvidos nas questões relacionadas à melhoria da saúde e dos padrões sanitários e ambientais.

O saneamento, conforme mencionado, engloba ações e medidas que visam preservar ou modificar o ambiente para que determinado espaço ofereça condições adequadas de vida, ou seja, por meio das ações de saneamento, contribui-se para a saúde ambiental, entendida como um capítulo no campo de atuação da saúde pública, que envolve todos os aspectos da saúde humana determinados por fatores ambientais.

A prestação de serviços de saneamento em condições adequadas de gestão, operação e manutenção, constitui um benefício ambiental e à saúde, sendo também vetor de desenvolvimento social. O acesso ao saneamento é elementar quando se tem como objetivo a qualidade de vida, pois proporciona melhores condições de saúde pública, diminuindo a incidência de doenças de veiculação hídrica, reduzindo os índices de morbidade e de mortalidade relacionados à falta ou precariedade desses serviços (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015). A Figura 5 ilustra as interfaces entre saneamento, saúde, meio ambiente e qualidade de vida.

Grande parte da população mundial permanece sem suprimento adequado de água potável e estrutura de saneamento, ainda que estes serviços estejam entre os meios menos onerosos e mais eficientes meios para promover a saúde pública. De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS, no ano de 2010, a população com acesso restrito a água potável atingiu 783 milhões de pessoas. Estimava-se para o ano de 2015, que 91% da população global estaria usando uma fonte de água potável aprimorada, comparado a 76% em 1990,

contudo, 2,5 bilhões de pessoas ainda não teriam acesso a serviços de saneamento básico, como banheiros ou latrinas. Relata, ainda, que diariamente, uma média de cinco mil crianças morre de doenças evitáveis relacionadas à água e saneamento (ODM BRASIL, 2012).



**Figura 5.** Saneamento, Saúde, Meio Ambiente e Qualidade de Vida.

Fonte: Elaborado pelos autores

Objetivando promover o acesso da população mundial ao saneamento básico, em 2010 a Assembleia Geral das Nações Unidas definiu que o acesso a água potável e esgotamento sanitário são direitos humanos. Como tal, a Organização das Nações Unidas (ONU) passou a estabelecer metas e realizar monitoramento contínuo sobre a cobertura de atendimento.

Em 2015 foi assinada a declaração “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, no qual a ONU estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas da nova Agenda universal, que buscam equilibrar as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental, e irão orientar a ação para os próximos 15 anos em áreas de importância crucial para a humanidade e para o planeta. É importante destacar o objetivo número seis, voltado para “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos” (ONU, 2015).

Diversos benefícios sociais e econômicos podem ser obtidos com investimentos em saneamento básico. Estima-se que 2,4 milhões de mortes sejam causadas anualmente pela falta de boas práticas de higiene e falta de saneamento e água potável. Essas mortes, que correspondem a 4,2% de todos os óbitos no mundo, são predominantemente de crianças

em países em desenvolvimento devido a diarreia seguida de desnutrição e outras doenças relacionadas com esses dois problemas.

Os benefícios econômicos são principalmente relacionados à economia com gastos em tratamentos e aumento da produtividade da população. Os retornos econômicos são inversamente proporcionais ao nível de desenvolvimento da população, ou seja, quanto maior o desenvolvimento, menor será o retorno econômico decorrente das ações de saneamento.

Por exemplo, na América Latina, em média, cada unidade monetária investida em esgotamento sanitário, proporciona o retorno financeiro equivalente a 7,3, enquanto a média mundial é de 5,5. Investimentos em fornecimento de água potável teriam retorno na proporção de 2,4 vezes o valor investido na América Latina, e a média mundial observada é de 2.

## 2.2 Serviços de Saneamento - Índices de Atendimento no Brasil

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizou os resultados do Censo 2010, considerando os valores consolidados em dezembro/2012. Publicou também, o Atlas do Saneamento, que possibilita visualizar a evolução desses serviços no país, no período 2000-2010.

De acordo com o IBGE, o país ainda apresenta acentuadas diferenças em relação à oferta dos serviços de saneamento, especialmente quando se comparam os índices por estados e municípios. Em face dessas desigualdades, conclui em suas análises, que o atendimento à demanda por saneamento constitui o grande desafio posto ao Estado e à sociedade em geral, atualmente (IBGE, 2010).

O levantamento dos índices de saneamento é realizado pelo IBGE desde meados da década de 1970 e foi aprimorado ao longo do tempo, de tal modo que no ano de 2000 passou a publicar a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, sendo que a última versão disponível apresenta dados relativos ao ano de 2008. Por meio desse aprofundamento das informações e de sua interpretação, e pelo estabelecimento de correlações entre os dados do saneamento com outros elementos que caracterizam a população e seu ambiente, foi possível uma compreensão mais abrangente sobre as interfaces do saneamento com a saúde humana e o meio ambiente.

Exemplo disso é claramente observado no Atlas do Saneamento (IBGE, 2021), que confere ao saneamento a capacidade de refletir o “estilo de desenvolvimento dominante em um dado território”. Afirma também, que o direito ao saneamento se confunde cada vez mais com o direito ao meio ambiente e à qualidade de vida, tornando-se “um dos indicadores mais sensíveis do grau de organização da sociedade civil em busca do acesso à cidadania e da própria diminuição das desigualdades existentes na sociedade brasileira”.

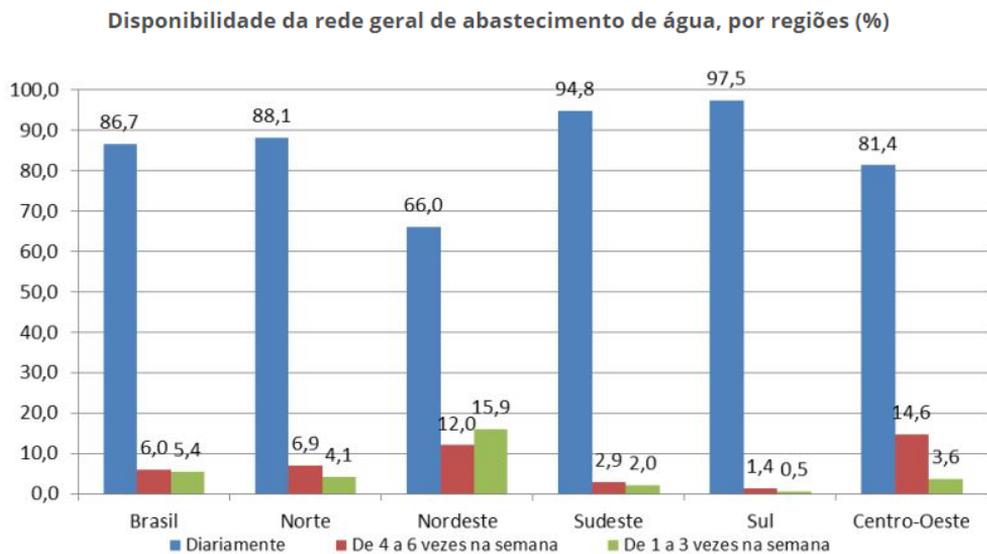
Tais afirmações são muito bem-vindas e reforçam a necessidade de se investir em saneamento e buscar a sua universalização. Iniciativas nessa direção têm sido adotadas nos últimos anos por todo país, porém, o tempo do saneamento é longo, contado em décadas, os investimentos são altos e as fontes de recursos, escassas. Mesmo com essa dificuldade, não é mais possível olhar com complacência para os índices de saneamento apontados pelas

pesquisas. Quando se observa o índice de atendimento em água, que é bastante elevado, não se pode deixar de considerar que a parcela da população não atendida é elevada também, conforme mostram os resultados das pesquisas realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, apresentados a seguir.

### 2.2.1 Água

Os resultados preliminares do Censo 2010 apontavam que do total de domicílios do país, 83% eram atendidos por rede geral de distribuição de água, 10% por poços ou nascentes na propriedade e 7% buscavam água de outras fontes (IBGE, 2010). Em 2017, de acordo com os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua, o país contabilizou 69,8 milhões de domicílios dos quais 97,2% (67,8 milhões) possuíam água canalizada. Destes, 85,7% (ou 59,8 milhões) tinham rede geral de distribuição como principal fonte de abastecimento de água, sendo que 51,8 milhões de domicílios (ou 86,7%) contavam com disponibilidade diária de água (AGÊNCIA IBGE DE NOTÍCIAS, 2018).

A Figura 6 permite visualizar a disponibilidade da rede geral de abastecimento de água por regiões do no país observadas no ano de 2017.



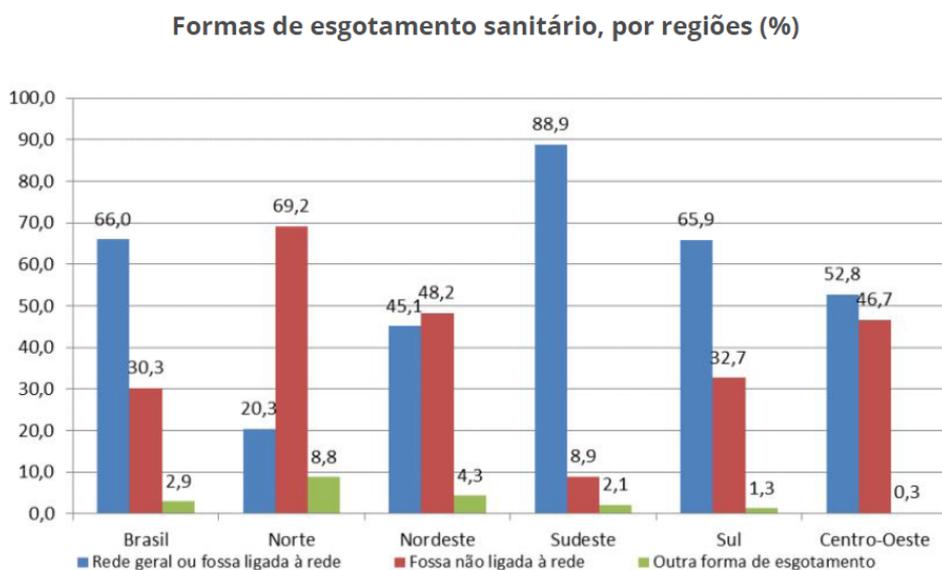
**Figura 6.** Brasil: disponibilidade de rede de abastecimento de água em 2016.

Fonte: Agência IBGE de Notícias, 2018.

### 2.2.2 Esgoto

Os resultados do Censo 2010 (IBGE, 2010) apontavam que do total de domicílios do país, 55% eram atendidos por rede geral de esgoto ou pluvial, 12% por fossa séptica, 30% por outros tipos e 3% não possuía banheiro no domicílio. Os resultados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua mostram que dos 69,8 milhões de domicílios do país, contabilizados em 2017, 97,7% possuem banheiro de uso exclusivo e que em 66,0% deles o escoamento do esgoto é realizado pela rede geral ou fossa ligada à rede. Em 30,3% (21,1 milhões de domicílios) o esgotamento sanitário é feito por meio de fossa não ligada à rede, enquanto 2,9% (2,0 milhões de domicílios) possuem outra forma de esgotamento sanitário (diretamente para o rio, por exemplo). Em 2016, o esgotamento por meio de fossa não ligada à rede ocorria em 29,7% dos domicílios, enquanto 2,8% usavam outra forma (AGÊNCIA IBGE DE NOTÍCIAS, 2018).

A Figura 7 apresenta os municípios atendidos com serviços de coleta de esgotos no país.



**Figura 7.** Brasil: Formas de esgotamento sanitário em 2016.

Fonte: Agência IBGE de Notícias, 2018.

### 2.3 A interface entre Saúde, Saneamento e Meio Ambiente

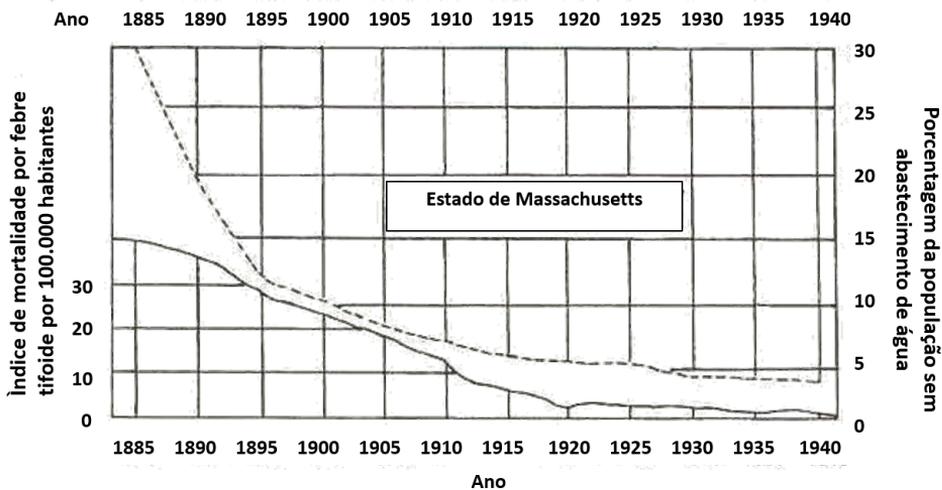
A correlação direta entre água e saúde era percebida intuitivamente desde os tempos mais remotos. No Velho Testamento já se via mencionado que “roupas sujas podem levar a doenças como a escabiose”; na Índia, há relatos de 2000 a.C. que descrevem que

a água impura deve ser purificada, pela fervura sobre um fogo, pelo aquecimento do sol, mergulhando um ferro em brasa dentro dela, ou ainda ser purificada por filtração em areia ou cascalho, e então resfriada (USEPA, 1990; CAIRUS, 2005; NARDOCCI *et al.*, 2008).

O interesse dos pesquisadores e profissionais ligados à saúde na compreensão das inter-relações entre o meio ambiente e a saúde pública é histórico, constituindo exemplo clássico, a famosa obra de Hipócrates “Dos ares, das águas e dos lugares”, do século IV a.C., que ressalta a influência da água sobre a saúde, considerada o primeiro esforço sistemático para apresentar as relações de causa e efeito entre os fatores do meio físico e as doenças. Essa obra forneceu todo o embasamento teórico para a compreensão das doenças endêmicas e epidêmicas, e suas postulações permaneceram válidas até o século XIX, sem sofrer alterações significativas (CAIRUS, 2005).

Na cidade de Londres, em 1854, John Snow entrou para a história por meio de seus estudos, quando comprovou cientificamente a associação entre a fonte de água consumida pela população e a incidência de cólera (SNOW e BONFIM, 1990).

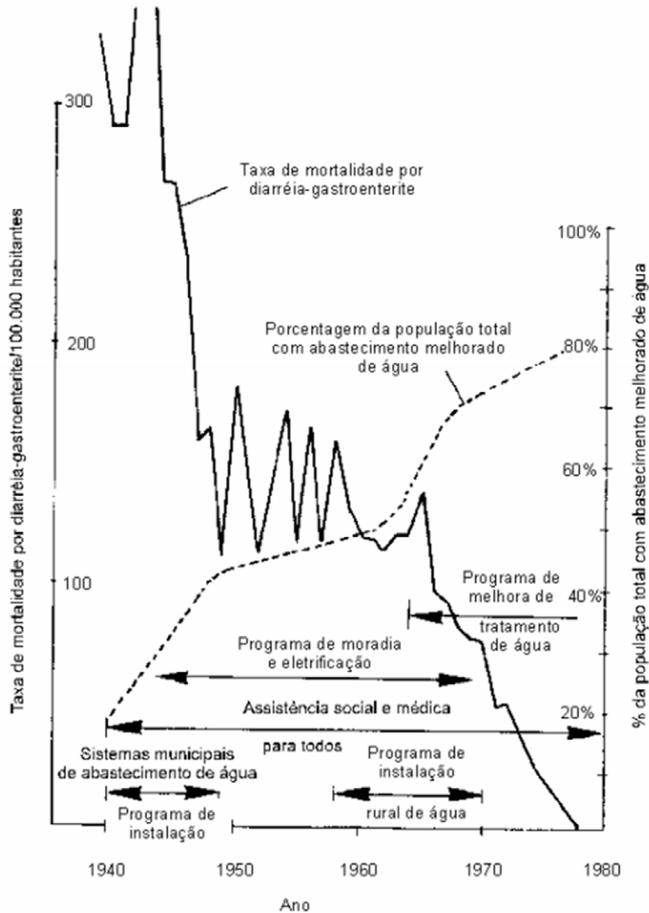
Um exemplo clássico da redução simultânea da taxa de mortalidade por febre tifoide com o aumento do atendimento por abastecimento de água ocorreu no período de 1855 – 1940, no Estado de Massachusetts, apresentado na Figura 8.



**Figura 8.** Evolução da mortalidade por febre tifoide e do atendimento por abastecimento de água em Massachusetts (1855-1940).

Fonte: Fair *et al.*, 1966 citado por Mejunkin, 1986.

Na Figura 9 verifica-se a evolução da mortalidade por diarreia e gastroenterite na Costa Rica.

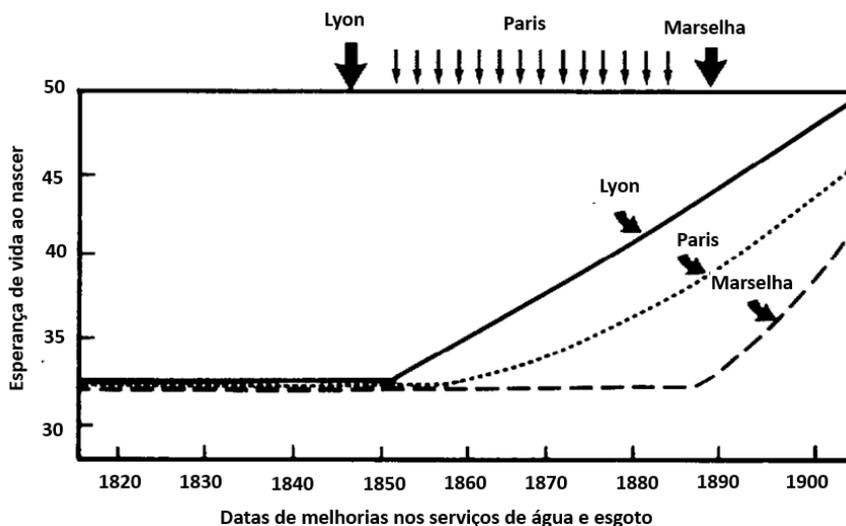


**Figura 9.** Evolução da mortalidade por diarreia e por gastroenterite e do atendimento por abastecimento de água - Costa Rica (1940-1980).

Fonte: Heller, 1997.

Pode-se observar que os índices de mortalidade caíram significativamente a partir de da implantação de programas para a instalação de sistemas municipais de abastecimento de água, ocorridos entre os anos de 1940 e 1960, entretanto, sofrem oscilações até meados da década de 1960, sendo marcadamente reduzidos a partir da implantação de programas para a melhoria do tratamento de água, ou seja, não basta que se tenha os sistemas implantados: os sistemas de abastecimento de água devem fornecer água em quantidade e com qualidade para se constituírem em efetivas barreiras sanitárias.

Exemplo disso pode ser observado na Figura 10, que correlaciona a melhoria dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com aumento da esperança de vida ao nascer na França, no século XIX.



**Figura 10.** Diminuição da mortalidade na França urbana do século XIX.

Fonte: Preston e Walle (1978) citado por Briscoe, 1987

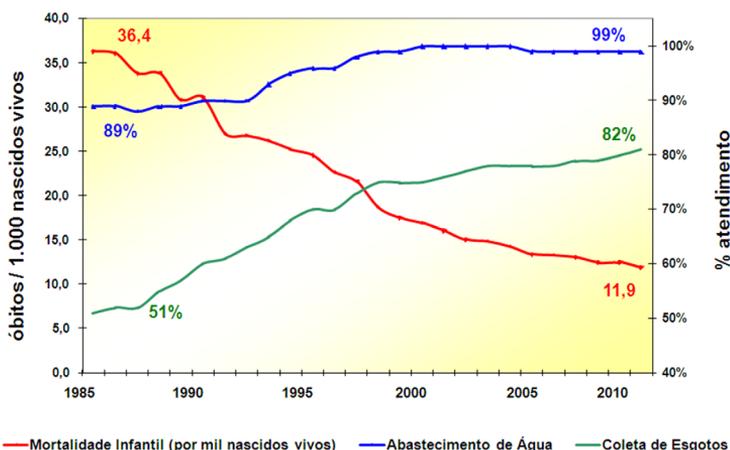
O conhecimento acerca do tratamento de água e dos esgotos foi acumulado ao longo da história e hoje há pleno domínio da tecnologia, dispondo-se de sistemas avançados para tratamento de água e esgotos. Entretanto, nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a falta de saneamento básico ainda é a principal responsável:

- pela morte por diarreia de menores de 5 anos (LEMONS, 2020);
- por 65% das internações hospitalares de crianças menores de 10 anos (MOREIRA, 1996);
- pela morte de uma criança de 0 a 4 anos a cada 96 minutos: 15 crianças por dia (ATHIAS, 2000);
- por doenças que mataram, em 1988, mais gente do que a AIDS (ATHIAS, 2000)

## 2.4 Índice de Mortalidade Infantil

São inúmeros os exemplos que correlacionam a oferta de água potável e a redução da mortalidade infantil. Um exemplo clássico no país ocorreu no ano de 1926, no Estado de São Paulo, quando foi implementada a cloração das águas distribuídas. Na ocasião, a taxa de mortalidade pela febre tifoide era de 50 por 100.000. Essa taxa sofreu uma redução imediata muito grande e foi diminuindo gradativamente até atingir valores menores do que 2 por 100.000 (OLIVEIRA, 1987a).

A Figura 11 apresenta a evolução dos índices de saneamento e da Mortalidade Infantil no Estado de São Paulo de 1985 até setembro de 2011.

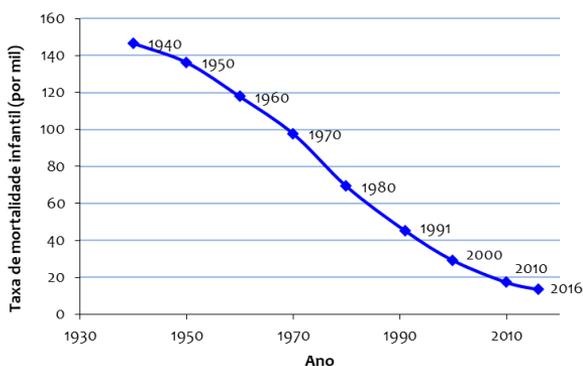


**Figura 11.** Taxa de Mortalidade Infantil no Estado de São Paulo x Índices de Atendimento dos Domicílios Urbanos com Abastecimento de Água e Coleta de Esgotos Sabesp (de 1985 a setembro/2011).

Fonte: Elaborado pelos autores

Analisando a Figura 11, pode-se verificar que no Estado de São Paulo, a redução do índice de mortalidade infantil foi gradativa, considerando o incremento das áreas atendidas pelo sistema público de abastecimento de água e de coleta de esgotos. Para se atingir este resultado, deve-se levar em conta também, os efeitos integrados da medicina preventiva, da limpeza pública, do controle de vetores, do controle de alimentos, do controle da poluição, dentre outros.

A Figura 12 apresenta a taxa de mortalidade infantil no Brasil. Comparando os resultados obtidos para o Brasil e com os valores observados em São Paulo, verifica-se que em 2011, São Paulo atingiu o índice de 11,9 mortes por mil nascidos vivos, durante o primeiro ano de vida, enquanto no Brasil, no ano de 2009, esse índice apresenta valores bem mais elevados, correspondentes a 22,47 mortes no primeiro ano de vida/mil nascidos vivos.

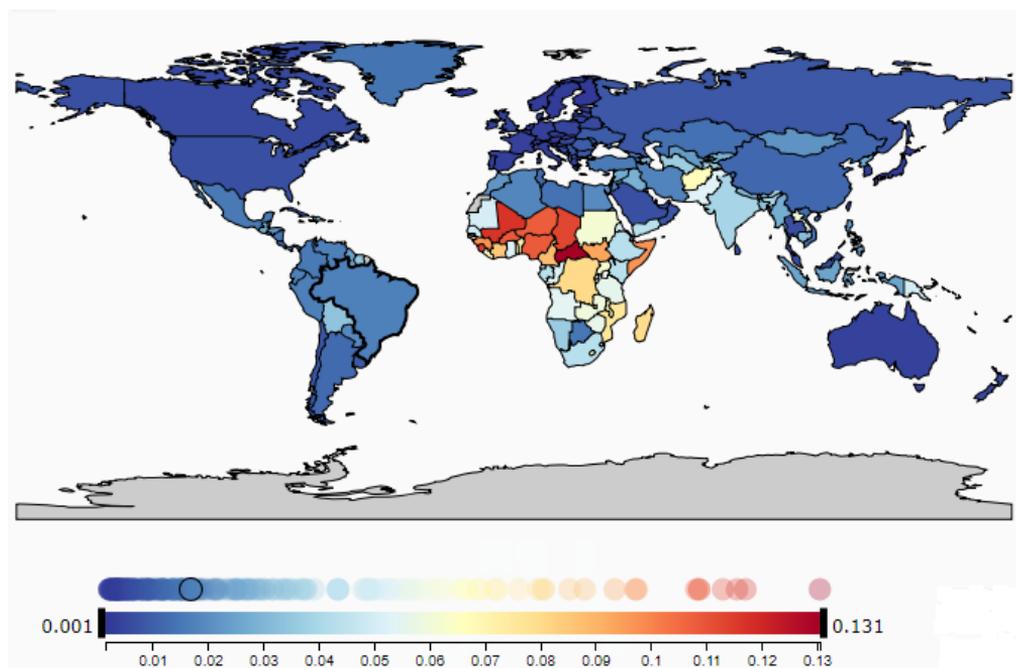


**Figura 12.** Taxa de Mortalidade Infantil (por mil nascidos vivos) para ambos os sexos.

Fonte: IBGE, 2017.

A Figura 13 apresenta os índices de mortalidade infantil para vários países, levantados pelo Institute for Health Metrics and Evaluation - IHME, da Universidade de Washington. Segundo essa fonte de informação, o Brasil apresenta o 8º pior índice, ficando em piores condições do que a Argentina, Uruguai, México, Colômbia e Venezuela, dentre outros.

Entretanto, sobre as taxas de mortalidade infantil, o IBGE (2017) faz uma avaliação interessante, mencionando que em 1980, os óbitos no Brasil de menores de 1 ano de idade, ocorriam no período neonatal numa taxa de 40,7%, o que caracteriza a predominância das causas de morte ligadas aos fatores biológicos, comumente denominadas de causas endógenas. O restante, equivalente a 59,3%, ocorria no período pós-neonatal, cujas causas de morte estão geralmente associadas aos fatores sociais, econômicos e ambientais, também designadas de causas exógenas.



**Figura 13.** Taxa de Mortalidade Infantil (menores de 5 anos) para ambos os sexos no ano de 2016. Circulado em preto na escala, os dados atribuídos ao Brasil.

Fonte: IHME, 2017.

O IBGE (2017) ressalta, ainda, que em um período de 28 anos, (1980-2008), com a implantação de programas sociais direcionados à saúde pública, como os de vacinação em massa, incentivo ao aleitamento materno, acompanhamento da gestante durante o período pré-natal e acompanhamento médico do recém-nascido, aliados a uma relativa expansão do sistema de saneamento básico, houve uma sensível mudança no comportamento destas

proporções, de tal modo que “a proporção de óbitos ocorridos no período neonatal que, em 1980, representava 40,7%, ampliou-se para 67,3%, em 2008, correspondendo a um aumento de 26,6 pontos percentuais em 28 anos. Já a proporção dos óbitos ocorridos entre o primeiro mês e o primeiro ano de vida, em relação ao total de óbitos de menores de 1 ano, declinou de 59,3%, em 1980, para 32,7%, em 2008.”

Estes números equivalem a um cenário semelhante àqueles que prevalecem em países onde a mortalidade infantil é significativamente baixa, sobretudo quando se considera o percentual de óbitos neonatais precoces, ou seja, óbitos de crianças com menos de uma semana de vida em relação àqueles que ocorreram no primeiro mês de vida.

Em países com alto grau de desenvolvimento econômico e social, estas mortes precoces são aquelas para as quais a Medicina ainda encontra sérias barreiras para evitá-las. No Brasil, em 2008, as mortes de crianças na primeira semana após o nascimento, representaram aproximadamente 75% dos óbitos ocorridos no primeiro mês de vida. Deste modo, ainda que o índice de mortalidade infantil no país seja alto, houve uma melhora significativa nesse índice em decorrência de ações relacionadas à qualidade ambiental.

Recentemente, os índices de mortes causadas por diarreia aguda no país atingiram índices semelhantes aos dos países desenvolvidos. No ano de 2016, considerando a população em geral, 2,86 mortes teriam acontecido a cada 100 mil habitantes no país devido a diarreia. Em países da África subsaariana esse mesmo índice chega a 132 mortes. No entanto, as mesmas estatísticas apontam que no país as mortes ocorrem predominantemente em crianças até 5 anos, atingindo 10,4 a cada 100 mil habitantes nessa faixa etária. Em países desenvolvidos a proporção se mantém estável, independentemente da faixa etária, o que ressalta o problema da mortalidade infantil no país.

### 2.5 Transmissão de doenças relacionadas ao saneamento

As doenças relacionadas ao saneamento e sua interface com o meio ambiente e a população podem ser divididas em grupos, conforme apresentado na Tabela 1. Apesar da relação entre as doenças de veiculação hídrica e por transmissão fecal-oral, elas podem ser divididas em grupos distintos. Por exemplo, no caso de infecções causadas por protozoários, as causadas por *Cryptosporidium* spp. são relacionadas à ingestão de água não tratada, assim como infecções causadas por *Entamoeba histolytica*, *E. dispar*, *Blastocystis hominis* e *Giardia intestinalis* (SPEICH *et al.*, 2016). O acesso aos sistemas de esgotamento sanitário, por sua vez, reduziria a incidência de infecções causadas por *E. histolytica*, *E. dispar* e *G. intestinalis*, mas não *Cryptosporidium* spp. ou *B. hominis*. Nestes casos, pode-se dizer que *Cryptosporidium* spp. ou *B. hominis* causam infecções predominantemente através da veiculação hídrica, enquanto os demais agentes podem ser caracterizados como agentes de veiculação fecal-oral e hídrica. Essa observação é razoável uma vez que em áreas em que não há tratamento de esgotos sanitários os mananciais são mais contaminados do que os mananciais preservados.

**Tabela 1.** Doenças relacionadas a saneamento e práticas de higiene

Grupo	Doença	Agente	Vetor/Hospedeiro
Doenças baseadas na água	cólera	bactéria	
	giardíase	protozoário	
	amebíase	protozoário	
	blastocistose	protozoário	
	criptosporidíase	protozoário	
	dracunculíase	nemátodo	
	microsporidiose	protozoário	
	oncocercose	nemátodo	
Doenças do tipo fecal-oral	ascaridíase	nemátodo	humanos
	enterobiose	nemátodo	humanos
	cisticercose	nemátodo	
	tricuríase	nemátodo	humanos
	ancilostomose	nemátodos	humanos
	Hepatites A e E	vírus	
Doenças transmitidas por inseto vetor	Febre tifóide	bactéria	humanos
	febre amarela urbana	arbovírus	<i>Ae. aegypti</i>
	Dengue	arbovírus	<i>Ae. aegypti</i>
	chikungunya	arbovírus	<i>Ae. aegypti</i>
	Zika	arbovírus	<i>Ae. aegypti</i>
	tracoma	bactéria	Insetos (vetor mecânico)
	malária	protozoário	<i>Anopheles</i> spp.
Doenças relacionadas com hospedeiros	filarirose	nemátodo	Grupo de mosquitos
	esquistossomose	trematódeo	Grupo de caramujos
	leptospirose	bactéria	mamíferos

Doenças transmitidas pela via fecal-oral podem ter insetos como vetores mecânicos. Outras doenças transmitidas por vetores que se multiplicam na água ou esgoto também abrangem as doenças relacionadas com a falta de saneamento. Como exemplo tem-se o tracoma, e embora a principal forma de contaminação seja por contato direto, moscas também podem transmiti-la e, portanto, esta doença é frequentemente associada ao saneamento.

Agentes infecciosos podem ser divididos entre microparasitas e macroparasitas. Os microparasitas são compostos de vírus, bactérias e protozoários e se multiplicam, normalmente em altas taxas, no próprio hospedeiro. Macroparasitas incluem os helmintos, que não se multiplicam no hospedeiro definitivo. Esses organismos apresentam reprodução sexuada que resulta na produção dos agentes potencialmente transmissores que são usualmente liberados no ambiente através das fezes e urina, ou transmitidos por vetores artrópodes. A maioria das infecções microparasíticas são agudas e de curta duração e, após recuperação, os indivíduos podem adquirir imunidade que pode se estender por toda a vida. Por outro lado, macroparasitas tem vida longa, causam infecções crônicas e persistem no indivíduo durante longos períodos.

## 2.5.1 Formas de transmissão das doenças de veiculação hídrica

### 2.5.1.1 Por ingestão de água contaminada

São doenças provocadas devido à ingestão direta de água contaminada, em geral, em locais onde não há sistema de abastecimento de água, e os grupos populacionais fazem uso de minas, poços, bicas, ou então, utilizam água mineral de fontes contaminadas. As principais doenças são cólera, febre tifoide, hepatite A e doenças diarreicas agudas de várias etiologias (WHO, 2018).

### 2.5.1.2 Por contato da pele/mucosas com água contaminada

Causadas pelo contato da pele ou mucosas com água contaminada por esgoto humano ou por fezes ou urina de animais. Destacam-se como principais doenças, algumas verminoses transmitidas pelo contato da pele com água ou solo contaminados, a esquistossomose, pela água contaminada e presença de determinadas espécies de caramujo no seu ciclo de transmissão, e a leptospirose pelo contato da pele com águas, principalmente de enchentes, solo úmido ou vegetação, contaminados pela urina de rato (WHO, 2018).

### 2.5.1.3 Por falta de água ou de rede de esgoto

A falta de água impede a higienização adequada e pode causar uma série de doenças, por exemplo, tracoma devido à *Chlamydia trachomatis*, doença conhecida por não se lavar o rosto - os olhos, de rotina; piolhos ou escabiose, que passam de pessoa para pessoa. Locais sem rede de esgoto ou sem banheiros ou fossas adequadas para a deposição de dejetos humanos possibilitam a transmissão da ascaridíase (*Ascaris lumbricoides*, adquirida devido à ingestão de ovos do parasita), de helmintíases ou outras verminoses, cujos parasitas podem ser carreados para água ou para os alimentos também por meio das moscas (WHO, 2018).

### 2.5.1.4 Por insetos/vetores que se desenvolvem na água e dejetos

Insetos sinantrópicos como moscas, mosquito, baratas e besouros coprofágicos são abundantes em áreas urbanas e rurais onde condições sanitárias são precárias. Os mecanismos de alimentação e hábitos de reprodução destes insetos fazem destes eficientes vetores bactérias, protozoários e vírus. Casos e surtos de doenças em áreas urbanas e rurais são, por vezes, relacionados com o aumento sazonal na abundância de insetos, assim como o controle destas é relacionado com a redução dos agravos. Os insetos podem agir como vetores mecânicos ou biológicos. Os agravos transmitidos por vetores mecânicos incluem gastroenterite aguda causada por bactérias e protozoários e tracoma. O número de espécies de insetos sinantrópicos que podem agir como vetores mecânicos é desconhecido. No entanto, dentre moscas, das aproximadamente 50 espécies que são sinantrópicas, 21 teriam comprovadamente o potencial de disseminar doenças mecanicamente.

As principais doenças transmitidas por insetos sinantrópicos que são vetores biológicos são: dengue, chikungunya, Zika, febre amarela urbana e febre do Nilo Ocidental. Outros exemplos são filariose, malária e algumas encefalites.

## 2.6 Quantificação do impacto dos agravos à saúde

O número de casos de uma doença, a taxa de incidência e a quantidade de óbitos, dentre outros, são dados convencionais que permitem avaliar a evolução de agravos sobre uma comunidade ou população. Para quantificar o impacto de um agravo e poder realizar comparações ou mesmo somá-los, tornou-se necessário a criação de uma medida que ponderasse cada tipo de enfermidade.

A variável *Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade* (DALYs, na sigla em inglês) é a métrica mais difundida para calcular o impacto dos agravos à saúde sobre a sociedade. Essa métrica, que considera o período de convalescência, resulta da soma de outros dois indicadores de saúde: Anos de Vida Perdida por Morte Prematura (YLL, na sigla em inglês) e Anos Perdidos Devido à Incapacidade (YDL, na sigla em inglês), de acordo com Devleeschauwer *et al.* (2014) e conforme descrito a seguir:

$$\text{DALY} = \text{YLL} + \text{YDL}$$

DALY = Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade

YLL = número de mortes x expectativa de vida da população

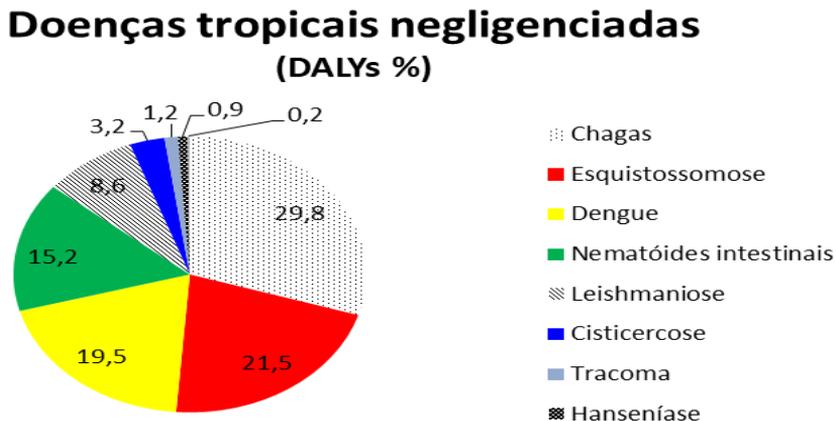
YDL = número de casos da doença x duração do agravo x peso

O fator “peso” adotado em YDL varia em uma escala de 0 a 1, onde 0 (zero) indica completa recuperação e 1 (um) indica óbito. Este fator é obtido estatisticamente. No entanto é possível encontrar tabelas de valores na literatura. É importante ressaltar que, apesar de disponíveis na literatura, os valores podem variar regionalmente e de acordo com a severidade do agravo, por exemplo, o fator peso para obtenção do YDL em razão dos casos de febre amarela pode ser 0; 0,051; ou 0,133 para casos assintomáticos, moderados e severos, respectivamente (GBD, 2017).

Comparando as principais causas de convalescência na população, alguns autores verificaram, por exemplo, que a falta de água potável, esgotamento sanitário e práticas de higiene eram a quarta maior causa de DALYs nos anos 1990 no Brasil, representando 5% do total.

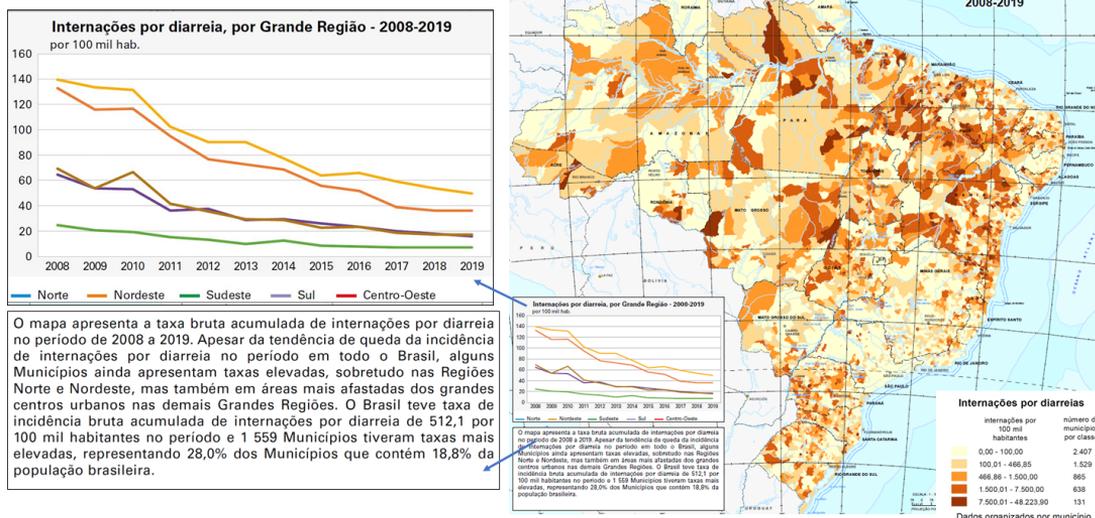
Em 2016, essa porcentagem era de 1%, representando a 14ª causa de convalescência. No mesmo trabalho, Marinho *et al.* (2018) apontaram que a principal causa de morte prematura (YLL) nas regiões nordeste e norte do país no ano 1990 era relacionada com saneamento e falta de práticas de higiene. Em outro trabalho, foram analisadas as causas de convalescência no país das denominadas doenças tropicais negligenciadas. Na Figura 14 é possível observar que as doenças relacionadas ao saneamento (em cor) são predominantes em causar incapacidade na população brasileira.

A Figura 15 apresenta a taxa de internações por diarreia no Brasil, no ano de 2009. As doenças consideradas no mapa foram: cólera; diarreias causadas por salmonela, infecção por *Escherichia coli* e outras infecções bacterianas intestinais; disenterias como amebíase, balantidíase, giardíase; rotavírus, Norwalk (gastroenterite viral), adenovírus; e febres entéricas.



**Figura 14.** Doenças tropicais negligenciadas (DALYS %). Porcentagem de anos de vida perdidos por incapacidade no Brasil, no ano de 2016.

Fonte: Adaptado de Martins-Melo *et al.*, 2018

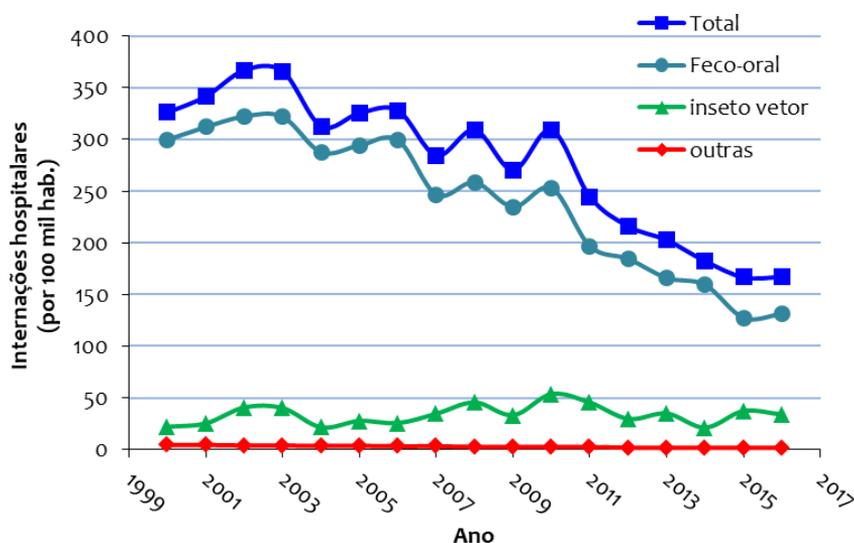


**Figura 15.** Internações por diarreias no Brasil, 2008 - 2019.

Fonte: IBGE, 2021.

## 2.7 Principais Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)

A Figura 16 apresenta os dados das internações hospitalares no Brasil, no período de 2000-2016, relacionadas ao saneamento ambiental inadequado. Foram consideradas as seguintes doenças: Diarreias, Febres Entéricas, Hepatite A, Dengue, Febre Amarela, Leishmanioses, Filariose Linfática, Malária, Doença de Chagas, Esquistossomose, Leptospirose, Tracoma, Conjuntivites, Micoses Superficiais, Helmintíases e Teníases.

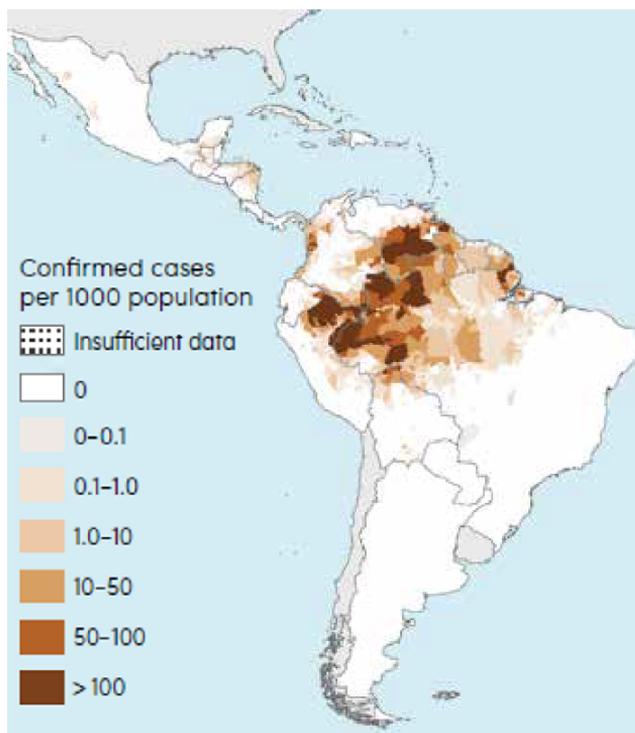


**Figura 16.** Internações hospitalares e doenças relacionadas ao saneamento inadequado e práticas de higiene. Brasil, 2000-2016.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de SIDRA, 2018.

**Malária**, conforme dados da OMS, ainda é uma das doenças mais mortais nas regiões tropicais e subtropicais, sendo transmitida de uma pessoa para outra através da picada de fêmeas do mosquito *Anopheles*. Estima-se mais de 200 milhões de casos (re) incidentes de malária anualmente. Seriam mais de 400 mil mortes no ano de 2015 atribuídas à doença. Embora o número seja enorme, houve redução de aproximadamente 50% no número de óbitos atribuídos à doença em 15 anos. As áreas de maior incidência da doença se encontram na África subsaariana, que concentram aproximadamente 90% dos casos. No ano de 2015, 95 países eram considerados como territórios onde ocorre transmissão da doença. Dois terços do restante de agravos se concentram em seis países: Brasil, Colômbia, Índia, Ilhas Salomão, Seri Lanca e Vietnã (WHO, 2015).

No Brasil, as maiores taxas de incidência se encontram na região norte, onde regiões endêmicas chegam a registrar anualmente mais de 100 casos a cada 1000 habitantes (Figura 17). A ecologia da doença é associada com a disponibilidade de água, uma vez que a larva do mosquito vetor se desenvolve em diferentes tipos de corpos hídricos. As espécies do gênero *Anopheles* variam consideravelmente nos requisitos ambientais para desenvolvimento, como condições da água e presença de vegetação. Essa variabilidade dificulta o manejo da doença. Em algumas regiões, o próprio habitat natural sustenta a intensa transmissão da doença. No entanto, a implantação de empreendimentos para reservação de água e instalações de canais de irrigação tem intensificado a transmissão e a doença tem se espalhado, em especial nos países da Ásia central e Europa oriental (KEISER *et al.*, 2005). Por esta razão, o manejo da malária está diretamente relacionado com saneamento básico.



**Figura 17.** Incidência de malária na América Latina no ano de 2014.

Fonte: WHO, 2015.

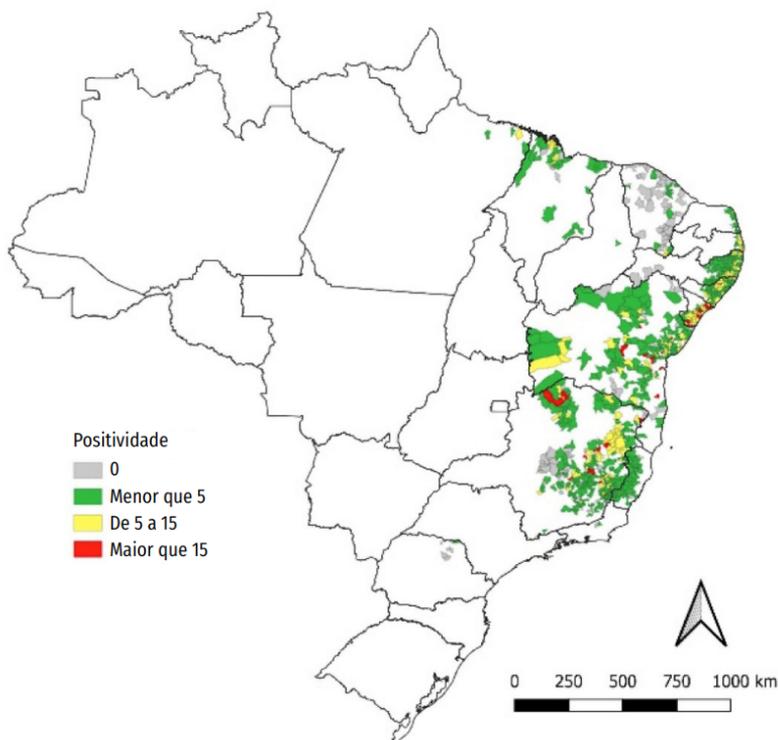
**Esquistossomose** é considerada a segunda mais importante infecção parasítica em termos de saúde pública e impacto econômico, ficando atrás apenas da malária. Esta é uma doença crônica que afeta entre 200 e 300 milhões de pessoas no mundo em 79 países. As infecções causadas por qualquer das cinco espécies do helminto *Schistosoma* são raramente fatais, mas causam muitos prejuízos à saúde. Interessantemente, o que causaria a morbidade

da doença não seria a colonização do parasita em si, mas sim o acúmulo e alojamento de seus ovos no organismo, levando a inflamação e formação de granulomas nos órgãos (COLLEY *et al.*, 2014). Aproximadamente 600 milhões de pessoas vivem em áreas endêmicas, que abrangem regiões da Ásia, África, América do Sul, e Oriente Médio, especialmente em áreas de ocorrência do hospedeiro intermediário, os caramujos dos gêneros *Biomphalaria*, *Oncomelania* e *Tricula*. O homem é o hospedeiro definitivo de *Schistosoma* spp., o agente causador da esquistossomose. A infecção ocorre quando a larva (cercária), desenvolvida no hospedeiro intermediário e então liberada na água, penetra na pele. O ciclo se completa quando ovos do agente etiológico são liberados através da urina e fezes e podem se desenvolver nos moluscos novamente.

A doença afeta muitas pessoas em países em desenvolvimento, particularmente crianças que podem adquirir a doença ao nadar em águas infectadas, assim como trabalhadores rurais em áreas irrigadas. Estima-se que em áreas endêmicas, todos os moradores de longa data serão eventualmente infectados pelo agente da doença. Assim como para malária, a epidemiologia da esquistossomose tem mudado com a implantação de empreendimentos e instalações para reservação de água. O represamento de corpos hídricos associado ao crescimento de vegetação aquática tem criado novos sítios de reprodução do hospedeiro intermediário. Uma revisão sobre o tema foi elaborada por Steinmann *et al.* (2006). Nas áreas urbanas, as áreas ocupadas irregularmente ao longo de ribeirões e córregos são propícias à multiplicação dos caramujos. Por essas razões, a emergência e re-emergência de áreas endêmicas tem sido reportada mundialmente (LIANG *et al.*, 2006; RUDGE *et al.*, 2013; BOISSIER *et al.*, 2016; KINCAID-SMITH *et al.*, 2017). Na China, as concentrações de pentaclorofenol tanto no ambiente e pessoas têm sido relacionadas com a re-emergência da doença. Este composto é a base de lesmicidas utilizados para controlar o hospedeiro intermediário e, na China, 60% da produção do composto é destinada para tal finalidade (ZHENG *et al.*, 2012). Outro fator que pode interferir na emergência da doença é o aquecimento global. Um dos agentes etiológicos da esquistossomose, o *S. japonicum*, se desenvolve em temperaturas a partir de 15.4°C e o hospedeiro se torna ativo a partir de 5.8°C (ZHOU *et al.*, 2008). Diversas regiões podem se tornar propícias à associação trematódeo-hospedeiro no ambiente com o aumento de alguns graus Celsius na temperatura média local. Migração de pessoas contaminadas para áreas com potenciais hospedeiros também pode resultar na ocorrência de surtos de esquistossomose, como ocorrido na ilha francesa de Córsega, no mar mediterrâneo. Neste caso, os moluscos da espécie *Bulinus truncatus* passaram a hospedar protozoários híbridos entre *S. haematobium* e *S. bovis* (BOISSIER *et al.*, 2016).

No Brasil, a esquistossomose é resultado, principalmente, da combinação entre *S. mansoni* e *B. blabrata* visto que o molusco desta espécie recoloniza as áreas mesmo após aplicação de lesmicida. As maiores taxas de prevalências e incidência da doença estão registradas nas regiões norte e nordeste, assim como no Estado de Minas Gerais, embora a ocorrência natural de hospedeiros intermediários contaminados seja observada em todo o país (SCHOLTE *et al.*, 2014; COELHO e CALDEIRA, 2016). As áreas endêmicas são ilustradas na Figura 18. No ano 2009 foram notificados no país 76,7 mil novos casos e, desde então o número de notificações vem diminuindo até os 13,2 mil casos notificados em 2019

(MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). Estima-se que 35 milhões de brasileiros estejam sob o risco de serem infectados e adquirirem esquistossomose (CHITSULO *et al.*, 2000). No Brasil, o controle químico com niclosamida foi amplamente utilizado até o ano de 2002. Atualmente o composto ainda é alternativa, mas somente em áreas de alta prevalência e com focos definidos (COELHO e CALDEIRA, 2016).



**Figura 18.** Distribuição da esquistossomose segundo a média do percentual de positividade por município. Brasil, 2009-2020.

Fonte: Ministério da Saúde, 2021.

**Leptospirose** é uma doença aguda e severa, com alto índice de mortalidade, e cuja distribuição é mundial. A incidência é maior em regiões tropicais, mas a transmissão ocorre tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Dos países que dispõem das estatísticas sobre a doença, o Brasil foi em 2008 o com a 17ª maior incidência, com aproximadamente 13 casos anuais a cada milhão de habitantes. Nas Ilhas Sheicheles, o país que teria a maior incidência da doença, ocorreriam mais de 400 casos por milhão de habitantes. Em países desenvolvidos, como Austrália e Dinamarca, esse índice seria de 9 e 6, respectivamente (PAPPAS *et al.*, 2008). Apesar da ampla distribuição, a ocorrência de surtos está intimamente relacionada com ausência de saneamento. Os ratos, que são o principal reser-

vatório da doença em áreas urbanas, se proliferam com o acúmulo de resíduos. Avaliando a ocorrência de surtos da doença após o período chuvoso no município do Rio de Janeiro, Barcellos e Sabroza (2001), observaram que a incidência de casos reduz de acordo com a o aumento da distância com áreas com acúmulo de resíduos. Tanto drenagem quanto resíduos são tópicos relacionados a saneamento básico. A frequência de inundações é maior em locais com drenagem inadequada. A disseminação da doença ocorre pelo contato com a água contaminada com a bactéria excretada pela urina dos reservatórios biológicos. Além de roedores, cães domésticos e outros animais, como morcegos e gambás são importantes reservatórios da bactéria, uma vez que podem permanecer meses sem apresentar sintomas da doença (BHARTI *et al.*, 2003; BATISTA *et al.*, 2005). São diversas as espécies e subgrupos patogênicos de *Leptospira* (AHERN *et al.*, 2005). Embora hantavírus possa ser transmitido da mesma forma, roedores silvestres da família *Muridae* são os disseminadores da doença e, portanto, esta não é considerada uma doença relacionada ao saneamento.

**Helminhos nemátodos** endoparasíticos são altamente prevalentes em regiões endêmicas de países em desenvolvimento. Nos humanos, uma das características mais intrigantes desses organismos é, de fato, a capacidade de persistir por longos períodos no hospedeiro. Além disso, a constante reinfecção do hospedeiro em regiões endêmicas, pobres em saneamento básico e práticas de higiene, resulta em renovação da comunidade parasítica. Nessas áreas um indivíduo infectado pode abrigar os parasitas durante a maior parte de sua vida. Helminhos causam muito mais morbidade do que mortalidade, sendo a severidade da doença relacionada com a carga da infecção. Infecções crônicas, principalmente se associadas com nutrição deficiente, pode acarretar danos ao desenvolvimento físico e intelectual em crianças. Os principais helmintos nemátodos que colonizam a população são os do sistema digestivo como *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus* e *Strongyloides stercoralis*. No entanto, nemátodos como os *Wuchereria Bancrofti* e *Onchocerca volvulus*, transmitidos por mosquitos e causadores da filariose linfática e oncocercose, são de especial interesse epidemiológico em regiões endêmicas.

Em um trabalho realizado no município de Salvador, Moraes *et al.* (2004) observaram que aproximadamente 90% da população menor de 15 anos de uma comunidade sem intervenção de drenagem e esgotamento sanitário apresentava infecção por *Trichuris* sp.. Este parasita usualmente compartilha o ambiente com o parasito *Ascaris lumbricoides*, e, portanto, é muito comum a coinfeção por ambos nematódos. Por esta razão, também observaram altos índices de prevalência para *A. lumbricoides* na população estudada. Ainda no mesmo trabalho, os autores verificaram que tanto drenagem urbana quanto esgotamento sanitário reduzem a prevalência desses parasitas.

Pouco relacionadas com saneamento na atualidade, filariose e oncocercose estão sob controle no país. A maioria dos focos de filariose foram extintos ou estão sob controle desde a metade do século XX, mas a doença já foi um problema em áreas urbanas (BRAGA *et al.*, 2001). No país, o principal vetor da doença é o mosquito *Culex* sp., no entanto em outras regiões endêmicas os mosquitos dos gêneros *Anopheles* e *Aedes* também são vetores (OMS, 2015). Portanto, a atenção deve ser constante para o risco de re-emergência da doença no país em razão de um grupo de insetos com potencial de transmissão ser contaminado por

um caso alóctone da doença. A oncocercose, por sua vez, é endêmica em áreas indígenas no norte do país (BIBERG-SALUM e RODRIGUES, 2016).

**Protozoários entéricos** são bastante conhecidos, mas ainda são considerados parasitas emergentes devido ao crescente número de infecções causadas por estes microrganismos (DORNY *et al.*, 2009). Diversas espécies de protozoários entéricos são associadas com episódios de diarreia em humanos, especialmente em populações imunodeprimidas e crianças (BRASIL *et al.*, 1997; ECHEVARRÍA e EVA, 2017). A água é o maior veículo para a maioria dos estágios de desenvolvimento desses parasitas. Durante esses estágios podem ocorrer a ingestão direta ou a contaminação de alimentos, como frutas, hortaliças e frutos do mar. Em especial na fase de oocistos, os protozoários são bastante resistentes a desinfetantes e, em razão de seu tamanho, a remoção em sistemas convencionais de filtração é um desafio (OMS, 2004). Frequentemente torna-se difícil a associação entre um alimento em particular e um surto. O estudo de surtos dessa natureza tem uma taxa de sucesso da ordem de 10%, principalmente em razão da resposta desuniforme entre indivíduos contaminados (CASEMORE, 1990). Dentre as infecções causadas por parasitas veiculados pela água e, conseqüentemente, alimentos, destacam-se *Cyclospora* sp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., *Fasciola* spp. e *Fasciolopsis* spp.. Protozoários do gênero *Cryptosporidium* spp. são o mais comum agente causador de diarreia no mundo (OMS, 2009). No ano de 2016, este grupo de microrganismos foi o quinto maior agente etiológico causador de diarreia em crianças menores de 5 anos. Neste mesmo ano, mais de 48 mil vidas (NAGHAVI *et al.*, 2017) e mais de 10 milhões de Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade (KHALIL *et al.*, 2018) foram perdidos devido a infecções causadas por *Cryptosporidium* spp. (NAGHAVI *et al.*, 2017).

**Febre tifoide** ou febre entérica é uma infecção aguda causada pelos sorotipos Typhi e Paratyphi da bactéria patogênicas *Salmonella enterica*. Esses organismos são importantes causadores de doenças em comunidades populosas, sem cobertura adequada de saneamento e sem hábitos de higiene. No ano de 2010 a febre tifoide teria acometido entre 14 e 27 milhões de pessoas no mundo (BUCKLE *et al.*, 2012), sendo a taxa de letalidade de aproximadamente 1% na população em geral (MOGASALE *et al.*, 2014). Recém-nascidos, crianças, e adolescentes na Ásia central e ao sudoeste são o grupo mais atingido pela doença (CRUMP *et al.*, 2004). A vacinação é uma das formas de prevenção da doença (CRUMP e MINTZ, 2010), no entanto, o Ministério da Saúde<sup>3</sup> brasileiro considera que esta não é a principal medida de controle. De acordo com o órgão, a vacinação seria apenas indicada em casos de surto da doença em razão do período curto de duração da imunização. Por sua vez, profissionais que lidam com dejetos, águas contaminadas e coletores de lixo são considerados prioridade em saúde pública e devem ser imunizados contra febre tifoide na rede básica de saúde.

Práticas de higiene são fundamentais no controle da disseminação da febre tifoide. Entre 2 a 5% dos pacientes transformam-se em portadores crônicos e podem transmitir a doença por até um ano, e os manipuladores de alimentos estão entre as pessoas que devem ser mo-

3 [<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/f/febre-tifoide-1/febre-tifoide>] Acesso em: 05 dez. 2022.

nitoradas quanto à presença do patógeno através da realização de exames periódicos. Além dos hospedeiros, água contaminada também é veiculador do patógeno e, portanto, alimentos irrigados podem ser contaminados. Ostras também são importantes alimentos relacionados com a ocorrência de surtos (RIPPEY, 1994). Um dos principais problemas emergentes observados é a ocorrência de bactérias resistentes a antibióticos, principalmente em regiões da Índia, Paquistão e Vietnã (CRUMP e MINTZ, 2010).

**Hepatites A e E** são doenças relacionadas com as condições ambientais e refletem a infraestrutura de saneamento disponível nas áreas de prevalência (JACOBSEN, 2018). Ambas têm epidemiologia similar, no entanto diferem quanto à área de endemia. No entanto, a infecção por Hepatite E durante a gravidez, principalmente no terceiro trimestre, pode resultar na forma fulminante da doença, aumentando morbidade e mortalidade da mãe e feto (CHAUDHRY *et al.*, 2015). Hepatite E é rara no Brasil e comum em países da Ásia central e sul, Oriente Médio, regiões da África e México (KRAWCZYNSKI *et al.*, 2001). Hepatite A, por sua vez, tem ocorrência global (JACOBSEN, 2018). A principal via de contaminação é a fecal-oral. No entanto, alimentos que tiveram contato com água contaminada, como frutos do mar e verduras, são importantes fontes desses vírus (KRAWCZYNSKI *et al.*, 2001; JACOBSEN, 2018). Pelo menos 600 pessoas teriam sido infectadas por Hepatite A em um restaurante nos Estados Unidos, onde se atribuiu que a cebolinha, hortaliça bastante popular, teria sido a fonte de contaminação (WHEELER *et al.*, 2005). Foram três óbitos atribuídos a este surto. Em alguns países desenvolvidos tem-se verificado aumento na transmissão sexual em grupos de risco. Esses casos, se em países em desenvolvimento, podem ser propulsores para a ocorrência de surtos quando as condições sanitárias da região da pessoa infectada são favoráveis à disseminação da doença (JACOBSEN, 2018). No ano de 2017, a cidade de São Paulo teve um aumento expressivo dos casos de Hepatite A. Foram 694 casos notificados. No mesmo ano, o município do Rio de Janeiro também apresentou elevação expressiva do número de casos. A Secretaria da Saúde do Estado de São Paulo<sup>4</sup> considerou, assim como em outros países, que o surto teria sido propulsionado por transmissão sexual em grupos de risco.

No Brasil, o índice de prevalência médio observado para Hepatite A nas regiões sul, sudeste, norte e nordeste foi de 65%, de acordo com Clemens *et al.* (2000). Destacam, ainda, que na região norte este índice foi de 90%, o que indica que quase a totalidade da população foi exposta e desenvolveu anticorpos para a doença. Crianças expostas ao vírus usualmente não desenvolvem sintomas, mas adolescentes e adultos permanecem durante muitas semanas convalescentes e apresentando icterícia. A morbidade e mortalidade aumentam conforme a idade da pessoa infectada e, portanto, aumentam os custos de tratamento e tempo produtivo perdido (BERGE *et al.*, 2000). A média de idade com que as pessoas adquirem imunidade ao vírus da Hepatite A aumenta conforme o desenvolvimento do país, sendo que em países desenvolvidos, as pessoas adquirem imunidade após os 40 anos; no Brasil, entre 5 e 10 anos; e na maioria da África subsaariana, abaixo dos 5 anos (JACOBSEN, 2018). Embora a prevalência da doença esteja diminuindo mundialmente, entre 2003 e 2010 nenhuma

4 [<https://spdm.org.br/noticias/saude-e-bem-estar/aumento-no-numero-de-casos-de-hepatite-a-em-sao-paulo-aler-ta-para-sexo-desprotegido/>] Acesso em: 05 dez. 2022.

alteração foi observada no município de Assis Brasil, no Acre (PEREIRA *et al.*, 2016). A partir do ano de 2014 o Sistema Único de Saúde brasileiro passou a disponibilizar a vacina para crianças de 1 a 4 anos.

**Dengue, zika, chikungunya, febre amarela urbana e febre do Nilo Ocidental** são doenças causadas por arbovírus e, portanto, transmitidas por vetores biológicos artrópodes. Embora algumas dessas doenças sejam transmitidas por outros insetos, elas têm como vetor potencial em comum o mosquito *Aedes aegypti*. Este é um inseto de comportamento sinantrópico, que se multiplica em água limpa e parada. A água de caixas d'água ou acumulada em resíduos dispostos a céu aberto é criadouro para a espécie e, portanto, as doenças transmitidas por ele são relacionadas ao saneamento. As regiões infestadas pelo mosquito incluem a área costeira do Golfo do México, nos Estados Unidos, o México, a maioria absoluta da região equatorial, tropical e subtropical no hemisfério sul nos continentes americano, africano, asiático e Oceania (GUBLER, 2002). No entanto, a presença do mosquito não indica que os vírus estão em circulação, mas apresentam potencial para, a partir de um único caso alóctone, iniciar o ciclo da doença em área infestada. A rotina para prevenção da multiplicação do vetor é importante para evitar o aparecimento de um surto dessas doenças. Como ação mitigadora, a realização do bloqueio da transmissão pelas vigilâncias sanitária e epidemiológica na área frequentada pelo “caso 1” é importante para evitar a disseminação da respectiva doença. Em áreas epidêmicas as doenças reemergem de acordo com fatores climáticos, sanitários e de imunidade na população, conforme descrito por Silva Júnior *et al.* (2017), estimando-se apenas a existência de um sorotipo para o vírus da zika. No caso da dengue, cujos sorotipos do vírus em circulação são quatro, a descrição do ciclo epidêmico da doença se torna mais complexa.

A **febre do Nilo Ocidental** tem sido apontada como uma das doenças emergentes com maior risco de causar uma epidemia no Brasil. O vírus tem como hospedeiros acidentais humanos e equinos; e hospedeiros principais as aves, inclusive migratórias, o que auxiliaria na sua disseminação. O vírus tem sido detectado em mais de 50 espécies de mosquitos<sup>5</sup>. Até o ano de 2005 a circulação do vírus em equinos não tinha sido reportada no país, mas já circulava pelos demais países americanos (PAUVOLID-CORRÊA e VARELLA, 2008). Em 2018 o vírus foi isolado em equinos com sintomas da doença no Estado do Espírito Santo (MARTINS-MELO *et al.* 2018). Em humanos, aproximadamente 80% dos indivíduos infectados pelo vírus não apresentam sintomas e os demais 20% vão desenvolver a doença, que afeta o sistema neurológico (HAYES *et al.*, 2005).

Apesar da existência de vacina efetiva contra **febre amarela**, a doença continua sendo um problema de saúde pública na África e América do Sul. A infecção é na maioria das vezes assintomática, mas quando desenvolvida, a doença apresenta alto índice de mortalidade, que varia de 20 a 60% (HAMER *et al.*, 2018). Estima-se que aproximadamente 90% dos casos ocorrem na África, no entanto as estatísticas são imprecisas uma vez que muitos casos não são reportados (VASCONCELOS e MONATH, 2016). No país, os surtos recentes foram atribuídos a variante silvestre da doença, cujos hospedeiros e vetores são primatas e

5 <https://www.cdc.gov/westnile/resources/pdfs/MosquitoSpecies1999-2016.pdf> Acesso em: 05 dez. 2022

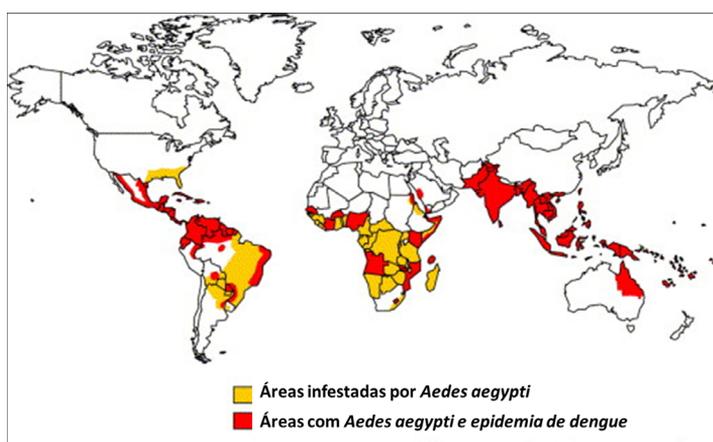
insetos não sinantrópicos, respectivamente (HAMER *et al.*, 2018). No entanto, há a preocupação de início do ciclo urbano da doença através da transmissão entre pessoas doentes com a intermediação do mosquito *Ae. aegypti* e consequente epidemia (MASSAD *et al.*, 2003). O último ciclo urbano da doença observado no país foi no ano de 1942 (MASSAD *et al.*, 2003). Na África, a transmissão urbana da doença foi notificada no ano de 2015 em Angola, onde a ocorrência da variante urbana atingiu algumas dezenas de pessoas e não era reportada desde o final dos anos 1980 (HAMER *et al.*, 2018). Ao contrário das outras arboviroses relacionadas ao saneamento, a imunização mediante vacinação é uma forma efetiva de prevenção e recomendada para algumas regiões do país (WHO, 2018).

A **dengue** é uma doença cuja circulação mundial começou ainda no século XVIII com a navegação comercial. Tanto o vetor quanto o hospedeiro, o homem, viajavam juntos, completando o ciclo de vida da doença durante o próprio deslocamento. Quando a embarcação atracava, o vetor e a doença se instalavam. Os ciclos de transmissão reemergiam na escala de décadas em razão do longo tempo de viagem e da aquisição de imunidade pelas comunidades infectadas. No entanto, quando um novo tipo do vírus era introduzido, a epidemia ocorria, uma vez que a imunidade se restringe ao vírus da respectiva infecção (GUBLER, 2002). Atualmente, esses ciclos de transmissão foram intensificados em razão da grande mobilidade da população e maior circulação dos quatro tipos de vírus, que infectam de 50 a 100 milhões de pessoas anualmente (RODENHUIS-ZYBERT *et al.*, 2010). A segunda infecção, assim como infecção em uma criança nascida de mãe imune, são condições que aumentariam as chances de desenvolver a forma severa da doença (GUBLER, 2002).

Os vírus da **zika** tem epidemiologia e ciclo de transmissão bastante similar aos do vírus da dengue (MUSSO *et al.*, 2015). No entanto, os efeitos mais adversos têm sido verificados durante a infecção congênita, quando há grande probabilidade de ocorrência e má formação neurológica do feto (FARIA *et al.*, 2016). De origem africana, foi isolada inicialmente no final dos anos 1940 em Uganda e o primeiro surto foi reportado com a ocorrência de 3 casos na Nigéria (MACNAMARA, 1954). O reservatório biológico da doença não é completamente determinado, sendo, além do homem, os primatas, outros mamíferos de grande porte e roedores potenciais transmissores do vírus ao vetor (IOOS *et al.*, 2014). Até recentemente apenas infecção esporádica era reportada para humanos provavelmente em razão da imunidade da população na região até então endêmica quando, no ano de 2007, foi notificada em território fora dos continentes africanos e asiático (MUSSO *et al.*, 2015). O vírus teria chegado ao continente americano no ano de 2013 e, em maio de 2015, a infecção causada pelo vírus foi notificada no país (FARIA *et al.*, 2016). Menos de um ano após a primeira notificação aproximadamente 30 mil casos já haviam sido notificados no Brasil, em 22 estados, mas a maioria absoluta foi notificada no Estado da Bahia (FARIA *et al.*, 2016).

A **chikungunya** é uma doença caracterizada principalmente pela artralgia, que pode perdurar por meses ou até anos após a infecção, o que resulta em alta morbidade (PETERSEN e POWERS, 2016). Nos últimos anos o vírus emergiu e se tornou um problema global de saúde pública. Milhões de pessoas foram infectadas nas regiões tropicais e subtropicais colonizadas pelo *Ae. aegypti* através da rápida disseminação da doença por viajantes em áreas infestadas com o mosquito (Figura 19). No Brasil, a primeira transmissão autóctone

foi detectada em 2014, no extremo norte do país e milhares de casos foram notificados (HONÓRIO *et al.*, 2015). Neste mesmo ano houve uma epidemia na América Latina, com mais de 800 mil casos notificados, sendo pelo menos 500 mil somente na República Dominicana (CARDONA-OSPINA *et al.*, 2015). O número de DALYs relacionados a infecção por chikungunya neste país alcançou a taxa de mil a cada 100 mil no ano de 2014 (CARDONA-OSPINA *et al.*, 2015). Ou seja, a população do país teria perdido 1% da expectativa de vida convalescendo da doença em um único ano. No Brasil, teriam sido 0,3 DALYs a cada 100 mil habitantes no ano de 2014 (CARDONA-OSPINA *et al.*, 2015). A proporção da população infectada no Brasil foi baixa, quando comparada aos demais países da América Latina. Desta forma, o risco de um novo surto é alto, uma vez que a disseminação da doença passa a reduzir quando aproximadamente 60% da população se torna imune ao adquirir a infecção em regiões infestadas com o vetor (PETERSEN e POWERS, 2016).



**Figura 19.** Regiões epidêmicas de dengue (vermelho) e regiões infestadas por *Aedes aegypti* e com potencial para epidemia de outras arboviroses (amarelo).

Fonte: Gubler, 2002.

## 2.8 Promoção da saúde, saneamento e higiene

### 2.8.1 Sistemas de saneamento

Para promover saúde pública nas comunidades urbanas é preciso disponibilizar água potável para consumo, por meio de sistemas de abastecimento de água, que têm como objetivo captar a água de um manancial, tratá-la e distribuí-la através de redes de distribuição até as edificações, para suprir as necessidades da população (NARDOCCI *et al.*, 2008).

O sistema público de abastecimento de água tem fundamental importância na promoção da saúde pública, e para cumprir essa finalidade deve ser bem projetado e bem operado, de

modo a fornecer água com qualidade, conforme os padrões vigentes, e em quantidade suficiente para garantir a saúde da população, evitando a proliferação de doenças decorrentes da escassez, ou até mesmo ocasionadas por condições precárias de higiene, que é um dos aspectos afetados pela falta de água (NARDOCCI *et al.*, 2008).

Nos dias atuais, as tecnologias disponíveis para concepção de sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgotos são bastante conhecidas, entretanto, a falta de infraestrutura de saneamento, ainda põe em risco a saúde das pessoas e a qualidade do meio ambiente. Dados da Organização Mundial da Saúde registram que 6% de todas as doenças são causadas pelo consumo de água contaminada, pela falta de coleta de esgoto e de higiene. Só a diarreia, principal moléstia relacionada ao problema, mata mais de 2 milhões de pessoas por ano – pelo menos 1,5 milhão delas são crianças com menos de 5 anos.<sup>6</sup>

Os sistemas coletivos de abastecimento de água devem ser preferencialmente utilizados, pois oferecem vantagens significativas em relação aos sistemas individuais, especialmente em função da garantia da qualidade da água fornecida (BRASIL, 2021). Isso ocorre, pois a legislação vigente estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, além de deveres e das responsabilidades em vários níveis, inclusive em relação à operação de sistemas, sendo que esses deveres também são rebatidos para os sistemas alternativos. Entretanto, a fiscalização é mais efetiva no caso do sistema público. Deve-se considerar que as operadoras dos sistemas de abastecimento de água são responsáveis pela qualidade do produto até o hidrômetro, ou seja, a responsabilidade pela manutenção da qualidade do produto nas instalações internas é do consumidor, e vale lembrar que os reservatórios residenciais representam o ponto mais frágil do sistema de abastecimento, pois se não houver limpeza periódica, tornam-se fonte de contaminação (NARDOCCI *et al.*, 2008).

Os sistemas individuais ainda são comuns na zona rural e nas áreas periféricas dos centros urbanos, levando as populações a fazerem uso de fontes de abastecimento nem sempre seguras e adequadas do ponto de vista sanitário. Hoje são conhecidas iniciativas de sucesso voltadas para a adoção de sistemas coletivos, mesmo para essas condições, entretanto, em função das particularidades locais, demandam o desenvolvimento de estudos de viabilidade específicos para cada caso (NARDOCCI *et al.*, 2008).

### 2.8.2 Práticas de higiene

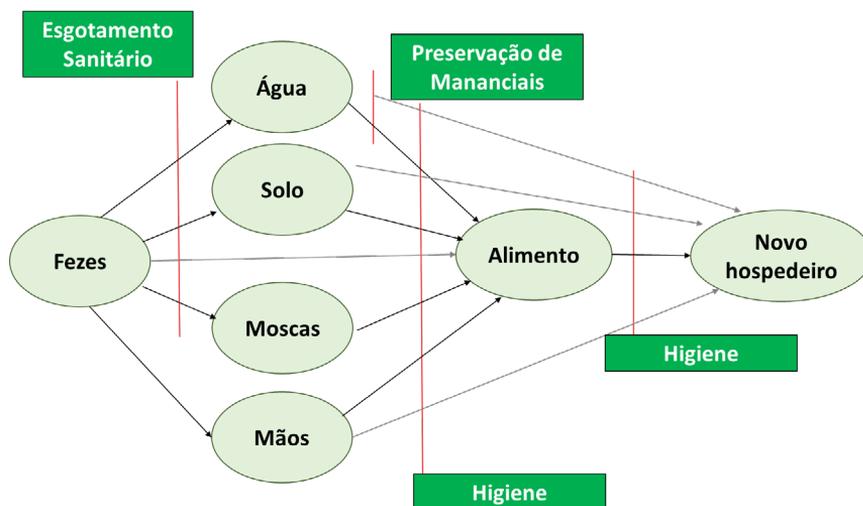
Estudos apontam que a higienização das mãos com água e sabão reduziria em 40% a incidência de diarreia na população. Esta porcentagem é considerada superestimada por alguns autores, que aceitam como uma boa estimativa o valor de 23% de redução do risco de incidência de diarreia infecciosa com a correta higienização das mãos. Nesse cenário, indicam ainda, que a higienização adequada das mãos preveniria 5 mil mortes e a perda de 416 mil DALYs anualmente na América Latina. Alguns estudos discutem que a higienização

---

<sup>6</sup> O Estado de São Paulo. Um planeta em busca de água potável, 20/03/2008.

das mãos seria tão importante quanto desinfecção da água ingerida, uma vez que o risco de recontaminação pela falta de higiene seria aumentado.

Embora recentemente quantificada, a relevância da higienização das mãos para a transmissão de doenças já havia sido descrita por Wagner et al. (1958), com a elaboração do “Diagrama F”, em referência às palavras em inglês, “Feces, Fluids, Fields, Flies, Fingers, Food” que representam os fatores de transmissão de doenças pela via fecal-oral (Figura 20).



**Figura 20.** Fatores (oval: fezes, água, solo, moscas, mãos e alimento) e vias de contaminação fecal-oral e respectivas medidas de prevenção (barreiras em vermelho).

Fonte: Adaptado de Wagner *et al.*, 1958.

## 2.9 Poluição das águas e saúde pública

### 2.9.1 Conceito de poluição

De acordo com a Lei n. 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981), a poluição consiste na degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente:

- prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- afetem desfavoravelmente a biota e as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

O conceito de poluição está associado às mudanças no meio ambiente, tornando-o impróprio às formas de vida que normalmente ele abriga, ou provocando danos à saúde hu-

mana, afetando de maneira nociva a vida e o bem-estar das pessoas. Em nome do desenvolvimento, os recursos naturais são explorados de forma cada vez mais intensa, mesmo considerando a estrutura legal estabelecida para a proteção do meio ambiente.

As grandes concentrações urbanas e os problemas que dela decorrem, assim como os desmatamentos e as monoculturas visando a produção de alimento, a industrialização e a implantação de obras de infraestrutura, como barragens e rodovias, causam impactos ambientais, além de prejuízos sanitários, econômicos ou estéticos, que também podem caracterizar poluição.

O conceito de poluição está diretamente associado ao uso do recurso. Assim, as modificações no ambiente oriundas de qualquer impacto serão caracterizadas como poluição se de alguma forma inviabilizarem a utilização do recurso natural.

As fontes de poluição da água, em relação a sua origem, podem ser pontuais ou difusas. As fontes pontuais ou localizadas, podem estar associadas aos lançamentos industriais e aos esgotos sanitários coletados e não tratados, por exemplo. As contribuições de origem difusa ou dispersa são geradas em atividades que depositam poluentes de forma esparsa sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica, atingindo os corpos d'água durante os eventos de chuva (NARDOCCI *et al.*, 2008).

### 2.9.2 Poluição pontual

Na poluição pontual, os poluentes provêm de uma fonte de fácil identificação, como do lançamento de efluentes através de uma única tubulação. Compostos químicos e agentes biológicos que atingem os corpos d'água em teores acima das concentrações usualmente encontradas no ambiente, causam poluição, bem como outros agentes, podendo-se citar o caso da poluição térmica, que apesar de parecer pouco impactante, pode exercer grande impacto sobre a comunidade aquática, e baixo impacto direto sobre a saúde humana.

No estado de São Paulo, o Decreto Estadual nº 8.468/1976 (SÃO PAULO, 1976) estabelece que são consideradas fontes de poluição todas as obras, atividades, instalações, empreendimentos, processos, operações, dispositivos móveis ou imóveis, ou meios de transporte que, direta ou indiretamente, causem ou possam causar poluição ao meio ambiente, estabelecendo, para fins de licenciamento ambiental, que estações de tratamento de efluentes são fontes de poluição, ainda que sejam instalações destinadas à reduzir as cargas poluidoras. Além delas, emissários fluviais ou submarinos, estações de transbordo de resíduos sólidos, abatedouros, aterros sanitários, despejos industriais e locais de criação de animais em confinamento são exemplos de potenciais fontes de poluição pontual.

A falta de tratamento de esgotos é a maior fonte de contaminação dos corpos hídricos. Entretanto, mesmo o efluente tratado em estações de tratamento de esgotos sanitários, quando é lançado no corpo hídrico receptor, caracteriza-se como uma fonte pontual de poluição, de fácil identificação. Os esgotos domésticos são considerados fonte difusa de poluentes quando a rede de esgotamento é inexistente.

A descarga pontual de poluentes pode causar, não somente a degradação do ambiente aquático, mas tem potencial para impactar a saúde da população local.

### 2.9.3 Poluição difusa

Pesquisadores começaram a reconhecer a importância da poluição difusa no final dos anos 1960 com o início do uso de modelos matemáticos, que apontavam que o balanço de poluentes não era coerente com a quantidade emitida pelas fontes pontuais. Além das fontes pontuais conhecidas, outras eram significativas para aumentar a concentração de poluentes no meio (NOVOTNY, 1995). Neste caso, as fontes difusas de poluentes se tornaram mais evidentes à medida que a eliminação de fontes pontuais não resultou na melhora da qualidade dos corpos hídricos esperada.

Diferentemente das fontes pontuais, as fontes difusas são difíceis de serem identificadas e quantificadas, visto que podem ser confundidas com as concentrações de compostos de ocorrência natural no ambiente e exigem um complexo sistema de monitoramento para avaliação. O controle de fontes difusas é usualmente mais difícil do que o controle de fontes pontuais, uma vez que envolve o transporte dos poluentes e sua transformação ao longo do meio, que pode ser o solo, a água, o ar e suas interfaces.

As fontes difusas de poluição incluem, dentre outras, ligações irregulares de esgotos, agricultura, drenagem urbana, fossas domésticas e deposição atmosférica de poluentes. Em determinadas regiões a mineração pode ser uma importante fonte difusa de poluentes.

No que se refere à poluição dos corpos hídricos, há dois grupos de poluição difusa que merecem especial atenção: as atividades agrícolas e urbanas. Em relação à poluição dos solos, a deposição atmosférica pode ser uma importante fonte de poluentes, conforme apresentado no item 6.3.1., adiante. Parte do material depositado no solo é carregada para os corpos hídricos.

Os principais poluentes originados pelas atividades agrícolas são nutrientes, pesticidas e sólidos suspensos. Uma fração dos pesticidas e fertilizantes utilizados no campo eventualmente chega aos corpos hídricos através, principalmente, do escoamento superficial e da erosão (GREGOIRE *et al.*, 2009). A extensão da contaminação e da eventual poluição vai depender das práticas adotadas.

No caso de pesticidas, diversas práticas podem ser adotadas para reduzir a contaminação dos corpos d'água. Nas propriedades agrícolas, antes ou durante a aplicação de pesticidas, pode-se (i) selecionar e substituir substâncias por outras menos poluentes; (ii) reduzir a dose e frequência de aplicações; (iii) manter atenção sobre as condições climáticas para aplicação, em especial referentes ao vento e precipitação; e (iv) seguir as recomendações quanto ao modo de aplicação (densidade da névoa) e lavagem dos implementos agrícolas.

No caso de fertilizantes, as boas práticas apontam para (i) a utilização de produtos de liberação lenta; e (ii) redução das doses e frequência de aplicações com o uso racional, o que pode reduzir a contaminação dos corpos hídricos, principalmente, por nitrogênio e fósforo.

Medidas complementares para prevenção à poluição incluem práticas conservacionistas de manejo do solo e o respeito às áreas de preservação permanente, que atuam no amortecimento do transporte de poluentes para os corpos hídricos (GREGOIRE *et al.*, 2009).

A poluição difusa oriunda de centros urbanos é a causa principal da falta de sucesso para a manutenção dos níveis de qualidade estabelecidos no sistema de gerenciamento dos corpos hídricos (MITCHELL, 2005). O escoamento superficial nas áreas urbanas carrega

consigo poluentes depositados das emissões veiculares, industriais e dos resíduos sólidos que são depositados ao longo do tempo, que podem ser desde resíduos domésticos quanto pequenas frações de lubrificantes e combustíveis que, quando somadas, representam grande impacto na qualidade dos corpos hídricos (FRAGA *et al.*, 2016). A composição da poluição difusa, portanto, pode ser bastante variada, especialmente pela influência decorrente do tipo de uso e ocupação do solo e do nível de impermeabilização da área.

De forma geral, predominam na água de drenagem urbana, metais como zinco, cobre e chumbo, óleos e graxas e materiais particulados (FRAGA *et al.*, 2016). A água da enxurrada também pode conter alta carga orgânica oriunda de dejetos de animais domésticos, descargas irregulares de esgoto e vazamentos (TRAN *et al.*, 2015).

São medidas para reduzir a carga de poluentes carregados com a água de drenagem urbana: (i) controle das emissões atmosféricas de poluentes, tanto automotivas quanto industriais; (ii) controle dos estabelecimentos que realizam abastecimento e serviços de manutenção veicular e máquinas em geral; (iii) gerenciamento de resíduos sólidos eficiente e (iv) separação da água de drenagem do sistema de captação de efluentes domésticos. No caso de postos de combustível, toda a água escoada na área de serviço deve passar por um sistema de separação de água e óleo.

A mineração artesanal é a maior fonte de mercúrio no ambiente no mundo, difundindo no ambiente aproximadamente 1000 toneladas anuais (UNEP, 2013). Na mineração, estima-se que milhares de toneladas de mercúrio metálico tenham sido despejadas nos corpos hídricos e na atmosfera da Amazônia legal (PFEIFFER *et al.*, 1993; ESDAILE e CHALKER, 2018).

Embora a maioria do metal seja recuperada no processo de amalgamação do ouro na mineração em escala artesanal, a parte que difunde pelos rios, polui os corpos hídricos progressivamente, uma vez que o metal tende a se acumular no ambiente. Parte do mercúrio volatiliza no processo de queima, expondo quase 20 milhões de mineradores artesanais em todo o mundo, incluindo mulheres e crianças (ESDAILE e CHALKER, 2018). No país, estima-se que a mineração artesanal manipule de 25 a 50 toneladas de mercúrio por ano, enquanto na Bolívia e Colômbia as estimativas são de 100 a 500 toneladas anuais (ESDAILE e CHALKER, 2018). A maioria absoluta dos países da Oceania e a China também estão entre os países que mais fazem uso de mercúrio para mineração em escala artesanal (ESDAILE e CHALKER, 2018).

Na forma metálica, o mercúrio é passível de solubilização através da atividade microbiana, com a formação de metil-mercúrio, que é lipossolúvel e bioacumula na cadeia trófica (ESDAILE e CHALKER, 2018). Além dele, outros metais pesados estão normalmente presentes em resíduos de mineração metálica e em áreas cuja atividade foi interrompida, uma vez que eles são abundantes nos minérios metálicos em geral (NAVARRO *et al.*, 2008). Esses subprodutos podem ser carregados através do escoamento superficial até os corpos hídricos e também representar uma fonte de poluição difusa aos recursos hídricos (NAVARRO *et al.*, 2008).

### 2.9.4 Poluição e contaminação da água: dois conceitos distintos

Do ponto de vista ecológico, a poluição pode ser atribuída a qualquer alteração da composição e das características do meio que cause perturbações no ecossistema, ou seja, po-

luição é a quebra no equilíbrio dos ciclos essenciais da vida, os ciclos biogeoquímicos, que são responsáveis pela perenidade dos ecossistemas.

Branco e Rocha (1977) mencionam que a definição de poluição fere o significado etimológico da palavra poluir, que vem do latim, “poluere” e significa sujar, além de não atender aos objetivos práticos do controle da qualidade do meio ambiente. Para ilustrar essa afirmação, citam alguns exemplos, como uma situação hipotética onde é introduzida água doce e “limpa” em um ambiente marinho, causando profundas perturbações nos ecossistemas ali existentes. Outro exemplo é o caso da irrigação permanente em áreas desérticas, modificando as características da fauna e da flora na região. Diante dos dois exemplos, indagam se a água, em ambos os casos, seria considerada um poluente.

Além desse aspecto, mencionam que os ecossistemas terrestres e aquáticos estão sujeitos a perturbações cíclicas, causadas por fenômenos naturais, como o depósito de folhas nos rios e de outros resíduos, vegetais e animais, transportados pelas chuvas, que podem causar perturbações ecológicas. Questionam, no entanto, se esses eventos podem ser considerados poluição, ainda que não tenha havido qualquer interferência de origem humana nesses processos.

Para equacionar essas incógnitas, associou-se ao conceito de poluição da água, um vínculo com a sua utilização. Assim, poluir é “sujar” a água, com alteração de suas características estéticas, mas também prejudicando o seu uso para os fins aos quais se destina, que pode ser para abastecimento público, para uso industrial ou agrícola, entre outros.

Por outro lado, o conceito de contaminação está associado ao lançamento à água de elementos que sejam nocivos à saúde do homem ou dos animais e vegetais que consomem essa água, independente de estes viverem ou não no ambiente aquático. Assim, quando ocorre a ação direta por microrganismos patogênicos ou substâncias tóxicas nocivas ao homem ou aos animais aquáticos usa-se a denominação “contaminação da água”. Também são considerados contaminantes, os elementos ionizantes e radioativos.

### 2.9.5 Tipos de Poluição

Derísio (2017) classifica a poluição em quatro tipos distintos: poluição: natural, industrial, urbana e agropastoril, conforme descrito a seguir.

A **poluição natural** corresponde àquela não associada à atividade humana e causada por chuvas e escoamento superficial, salinização e decomposição de vegetais ou animais mortos (DERÍSIO, 2017).

A **poluição industrial** compreende os resíduos líquidos gerados nos processos produtivos, sendo que algumas atividades devem ser cuidadosamente monitoradas em relação ao controle da poluição, como a indústria de papel e celulose, as refinarias de petróleo, usinas de açúcar e álcool, siderurgias e metalurgias, indústrias químicas, farmacêuticas e têxteis, abatedouros, frigoríficos e curtumes (DERÍSIO, 2017).

A **poluição urbana** é proveniente dos habitantes de uma cidade e está associada, principalmente, ao esgoto doméstico gerado que pode ser lançado de forma direta ou

indireta nos corpos d'água. Soma-se a esse aspecto, as questões relacionadas aos resíduos sólidos descartados de forma inadequada, que acabam chegando os corpos d'água carreados pela chuva, juntamente com os outros elementos que compõem a poluição difusa (DERÍSIO, 2017).

A **poluição agropastoril** está relacionada às atividades de agricultura e pecuária por meio de defensivos agrícolas, fertilizantes e excrementos de animais (DERÍSIO, 2017).

Há ainda outro tipo de poluição, causada por acidentes, muito comuns nas operações de transporte de produtos perigosos.

### 2.9.6 Estações de tratamento de esgotos como barreiras sanitárias e ambientais

Um corpo hídrico está sujeito ao recebimento de contribuições oriundas de fontes de poluição distintas, que podem ser pontuais ou difusas. A coleta e o tratamento dos esgotos são fundamentais para que haja uma redução significativa da carga poluidora recebida por um corpo d'água, entretanto, a despoluição dos rios demanda ações integradas de todos os usuários da bacia, sendo a educação ambiental uma questão muito importante a ser considerada nos processos e programas voltados para a despoluição dos rios.

Vale ressaltar que a coleta e afastamento dos esgotos constitui uma ação de saneamento com objetivos sanitários, de âmbito local, que confere benefícios à saúde pública pela eliminação do contato direto da população com os dejetos. A partir do tratamento desses esgotos antes do lançamento nos corpos d'água, amplia-se a abrangência do saneamento, pois o tratamento representa uma intervenção de alcance regional no que tange ao conceito de bacia hidrográfica, com finalidades ambientais (NARDOCCI, 2008).

Os sistemas de tratamento têm por objetivo remover os contaminantes, buscando garantir que o seu lançamento no corpo receptor não comprometa os processos que determinam a qualidade das águas, a vida aquática, bem como os usos previstos para a água, a jusante do ponto de lançamento. Porém, constitui-se em um problema complexo, a determinação da quantidade e de quais substâncias deverão ser removidas por um sistema de tratamento para garantir a proteção ao meio ambiente (PAGANINI, 2001).

No ano 2000, estimou-se que apenas 10% da população urbana brasileira tinha seus esgotos tratados. Os baixos níveis de atendimento no Brasil em serviços de saneamento básico, sobretudo em relação à coleta e ao tratamento dos esgotos sanitários, devem-se, principalmente, a problemas de ordem política e econômica, portanto, não estão relacionados a carências e deficiências em tecnologia (NARDOCCI, 2008).

Em vista disso, as ações de saneamento devem obedecer a uma sequência lógica de implantação, a exemplo do que foi realizado nos países desenvolvidos, buscando melhorias gradativas, mediante a implantação de sistemas de tratamento em nível secundário, conforme os limites legais vigentes<sup>7</sup>, e só após a universalização, direcionar os investimentos para os sistemas em nível terciário, os chamados tratamentos avançados, com custos mais eleva-

<sup>7</sup> Resolução CONAMA nº 430 de 16/05/2011.

dos, que se destinam a remover além de matéria orgânica presente, os nutrientes da água, que são os principais responsáveis pela eutrofização dos corpos hídricos.

A finalidade maior das estações de tratamento de esgotos é a de que venham a representar reais barreiras sanitárias na proteção do meio ambiente e na manutenção dos recursos naturais, os quais são finitos (CAVINATTO e PAGANINI, 2007). Estas barreiras devem ser perenes e eficientes ao longo da sua vida útil. Entretanto, existem plantas de tratamento concebidas que são barreiras sanitárias por um determinado período, pois em função de deficiências operacionais, pela falta de recursos para a execução das ampliações necessárias ou em função de outros fatores e limitações, acabam por ter a função de “armazenar” os elementos poluentes, como se fossem depósitos e, quando sua capacidade ou vida útil se esgota, lá estão os problemas, desta feita, acumulados e potencializados.

A figura da barreira sanitária enseja algo que possa representar solução definitiva, eficiente e eficaz, e não um equipamento que transforme, transponha ou acumule elementos poluidores de maneira irreversível, ao longo do tempo.

Assim, é de suma importância que as estações de tratamento sejam concebidas de maneira perfeitamente inserida no ecossistema em que foram locadas, dando destinos definitivos, tanto à fase sólida como à fase líquida dos esgotos, de forma que as leis da natureza não sejam agredidas em tempo algum, e a planta de tratamento venha a ser parte integrante do ambiente em que foi construída (NARDOCCI *et al.*, 2008).

## 2.10 Eutrofização das águas e seus impactos ambientais e à saúde

O nitrogênio e o fósforo, além de outras substâncias presentes nas águas naturais, são nutrientes aos processos biológicos, sendo utilizados pelas algas e outros organismos em seus processos metabólicos. Esses nutrientes, quando em excesso, provocam o enriquecimento do meio tornando-o eutrofizado, causando impactos aos ecossistemas aquáticos, sendo um dos principais fatores responsáveis pela perda de qualidade das águas, podendo comprometer a sua utilização (CETESB, 2020). O aumento da população, da atividade industrial, da produção agrícola, da poluição difusa, entre outros, pode contribuir para a eutrofização.

Por muitos anos, os detergentes foram responsáveis pelo aporte de fósforo nas águas, entretanto, a contribuição dos detergentes tem diminuído ao longo dos anos, em decorrência da implantação de ações de controle com vistas a regulamentar o teor de fósforo nesses produtos (QUEVEDO e PAGANINI, 2016).

O aumento da população e os esgotos de origem doméstica representam uma parcela importante de contribuição de nutrientes, pois o fósforo está presente na urina e nas fezes humanas e em outros subprodutos das atividades humanas, além disso, possuem elevadas concentrações de matéria orgânica em sua constituição, que durante o processo de decomposição vão liberar nutrientes para o meio.

A contribuição de esgotos industriais é variável, em função dos tipos e processos industriais. Um mesmo tipo de indústria pode contribuir de formas distintas, considerando-se, por exemplo, a adoção de práticas de “Produção mais Limpa”, sustentabilidade e responsabili-

dade ambiental, iniciativas que promovem a redução do descarte de poluentes/nutrientes e dos impactos ambientais.

As contribuições de nutrientes oriundas de áreas agrícolas são significativas, considerando o nitrogênio e o fósforo contido nos fertilizantes, que atingem os corpos hídricos pelo escoamento e percolação das águas de irrigação e da chuva em solos fertilizados.

As cargas difusas de poluição também contribuem com o aporte de nutrientes para os corpos hídricos, porém, é difícil associar-se a elas um ponto de origem, pois que provêm de atividades que depositam poluentes de forma esparsa sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica. Chegam aos corpos hídricos de forma intermitente, associadas a eventos de precipitação e são geradas a partir de extensas áreas de ocupação antrópica (PORTO, 1995).

As principais fontes que contribuem para o aporte de contaminantes de maneira difusa são a deposição atmosférica úmida e seca, a lixiviação de compostos do solo e a drenagem de águas pluviais em ambientes rurais e urbanos. Em regiões urbanas, as águas de drenagem podem carrear uma grande variedade de contaminantes potencialmente tóxicos para corpos aquáticos receptores, oriunda do escoamento superficial, que arrasta resíduos sólidos e lixo descartados da maneira inadequada, e fezes de animais. A própria água da chuva, especialmente em áreas afetadas pela poluição atmosférica contribui como fonte de N e P.

A eutrofização é geralmente causada pela ação antrópica. Como foi visto, corpos hídricos localizados nas proximidades de aglomerados urbanos, em áreas de ocupação irregular, ainda bastante comuns nos grandes centros, podem estar sujeitos ao aporte de nutrientes, considerando o lançamento de esgotos *in natura*, sem tratamento.

A eutrofização é mais comum em corpos d'água naturais, como lagoas, lagos, rios e córregos de baixa velocidade, bem como em reservatórios e represas artificiais. A eutrofização em rios não é um fenômeno muito comum, pois a turbidez elevada, que impede a penetração de luz necessária para a fotossíntese das algas, e as altas velocidades, são condições desfavoráveis ao crescimento das algas e outras plantas. Entretanto, esse fenômeno tem sido observado em rios da região nordeste do país, na época de baixas vazões (AMARAL E SILVA, 1972).

Um aspecto de fundamental importância que pode ocorrer em ambientes eutrofizados se refere à floração de microalgas e de cianobactérias, as algas azuis. Especialmente as cianobactérias, assimilam de forma mais eficiente o nitrogênio e o fósforo, e por essa razão se multiplicam de forma rápida e intensa em ambientes onde esses nutrientes estão disponíveis.

Algumas espécies de algas pertencentes aos grupos das Cianofíceas são capazes de produzir e liberar toxinas para o meio líquido, substâncias tóxicas com sérias implicações relacionadas à saúde pública, acarretando também desequilíbrios ambientais significativos, que podem levar a mortandade de peixes.

A Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005, publicada pelo Ministério do Meio Ambiente (CONAMA, 2005a) apresenta uma definição de cianobactérias já associada à questão da saúde, da seguinte forma: cianobactérias são “microrganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis) capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos a saúde”.

As cianotoxinas podem afetar a saúde humana principalmente pela ingestão de águas contaminadas, bem como de pescados contaminados, ou até mesmo por contato em atividades de recreação. Os sintomas causados dependem da dose ingerida, da via de contato e das condições prévias de saúde do organismo afetado. Seus efeitos dependem do tipo de toxina e se classificam em neurotóxicos, hepatotóxicos, citotóxicos e dermatotóxicos. Estudos desenvolvidos em ratos apontam observações clínicas como reações alérgicas, dano hepático, anorexia, convulsões, gastroenterite, taquicardia e morte, entre outros.

As cianotoxinas neurotóxicas são espécies de ação rápida, podendo causar a morte de mamíferos por parada respiratória, e as hepatotóxicas, conforme indica o nome, causam danos hepáticos. No Brasil foram registrados dois casos clínicos importantes causados por cianotoxinas, sendo o mais famoso deles, a “Síndrome de Caruaru”, quando 131 pacientes de uma clínica de hemodiálise localizada na cidade de Caruaru, no estado de Pernambuco, foram intoxicados por microcistina, uma toxina liberada pelas cianobactérias, causando a morte de 52 pacientes. A causa apontada pela Secretária Estadual de Saúde foi hepatite tóxica.

Outro caso importante, ocorreu na Bahia, em 1988, quando cerca de 2000 pessoas que consumiam água proveniente da represa de Paulo Afonso foram diagnosticadas com gastroenterite severa, que resultou na morte de 88 pessoas num período de 42 dias. As análises realizadas na água bruta registraram a presença de cianobactérias em elevadas concentrações.

O monitoramento de cianobactérias e o controle das cianotoxinas nos mananciais é uma medida obrigatória, para os responsáveis por estações de tratamento de água para abastecimento público, regulamentada pela Portaria Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021). A Resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005a), estabelece a densidade de cianobactérias como parâmetro de qualidade e de classificação dos corpos hídricos.

Outro aspecto relevante relacionado à presença de algas é a sua capacidade de causar odor e sabor às águas. Esse fenômeno é decorrente da liberação dos ácidos graxos contidos em suas células, durante o processo de lise celular, que corresponde à destruição ou dissolução da célula causada pela rotura da membrana plasmática após a morte de certas algas.

Ainda que esses parâmetros não estejam diretamente relacionados à segurança da água, podem comprometer a sua aceitabilidade para o consumo humano, levando o consumidor a procurar fontes alternativas de abastecimento, sem qualquer controle de qualidade, o que pode causar sérios problemas de saúde pública.

As algas também podem ocasionar problemas na operação das estações de tratamento, pois podem entupir os filtros e causar distúrbios em outras partes do sistema. Quanto mais comprometida estiver a qualidade do manancial, maior será a demanda por recursos tecnológicos, com grau de complexidade e sofisticação variáveis, visando garantir a eficácia do tratamento em cada caso, de modo a atender os padrões de potabilidade expressos na Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2021).

O controle da eutrofização contempla medidas preventivas e corretivas. As ações de prevenção consistem em atuar na bacia hidrográfica, em relação às questões de uso e ocupação

do solo, controle da drenagem pluvial, controle de resíduos sólidos, considerando a necessidade de educação ambiental para a população, controle do uso de fertilizantes em áreas agrícolas.

A remoção de nutrientes em sistemas de tratamento de esgotos requer o emprego de tecnologias específicas, sendo que a legislação vigente no país não exige a remoção de nutrientes em estações de tratamento de esgotos sanitários.

O processo de tratamento convencional, composto por coagulação, floculação, decantação e filtração é largamente empregado no país, mas hoje, a adoção de tratamento por processos não convencionais, que encarecem o tratamento da água, como os sistemas por membranas, já é uma necessidade observada para alguns mananciais urbanos.

## 2.11 Universalização do saneamento

A universalização dos serviços de saneamento para as populações é o principal foco das empresas operadoras dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. A carência por esses serviços ainda é muito grande no país e para atendê-la, é necessário o estabelecimento de prioridades, ressaltando-se, conforme mencionado, que o abastecimento de água é a ação primeira do saneamento, a mais significativa no que se refere à promoção da saúde pública, seguida pela segunda providência, que é a coleta dos esgotos, uma ação sanitária de âmbito local, que também traz benefícios à saúde pública na medida em que os esgotos são afastados do entorno das populações, e por fim, o tratamento de esgotos, que consiste em uma ação ambientalmente adequada com abrangência regional, pois promove a melhoria da qualidade da água dos rios, que deixam de receber esgotos sem tratamento (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

O saneamento tem um papel fundamental a desempenhar. Com a promulgação da Lei Federal 11.445/07 – a “Lei do Saneamento”<sup>8</sup> a prestação dos serviços públicos de saneamento básico passou a ter dentre seus princípios fundamentais a universalização do acesso, bem como a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais (BRASIL, 2007).

O Brasil necessita ampliar de maneira efetiva a oferta dos serviços de saneamento básico e ambiental em todos os seus municípios. Para tanto, é necessário aumentar o investimento em obras de infraestrutura de saneamento, de modo a elevar os índices de atendimento à população.

Buscar melhorias gradativas para o setor de saneamento representa inquestionáveis benefícios ao meio ambiente e à saúde pública. Deve, portanto, ser inserido no contexto multidisciplinar das questões ambientais, de maneira integrada com as políticas de saúde, de desenvolvimento urbano e rural, de meio ambiente, de recursos hídricos e de habitação, para ser um importante vetor de desenvolvimento social e de proteção à saúde pública, uma vez que o acesso a esses serviços promove a oferta de condições de vida mais dignas para a população (NARDOCCI, 2008).

---

<sup>8</sup> Alterada pela Lei 14.026 de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País...

# Capítulo 3

## Sistemas de Abastecimento de Água

### 3.1 Sistemas de abastecimento e qualidade da água

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2021), para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, um sistema de abastecimento de água para consumo humano é uma instalação destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável por meio de rede de distribuição, composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, que se estendem desde a zona de captação até as ligações prediais.

#### 3.1.1 Sistemas alternativos de abastecimento

A mesma Portaria diferencia o sistema de abastecimento de água, dos sistemas alternativos de abastecimento, que podem ser individuais ou coletivos. A solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano é a modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atende a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares. Os sistemas individuais são comuns na zona rural e nas áreas periféricas dos centros urbanos, onde ainda não há acesso ao sistema público, por rede (BRASIL, 2021; NARDOCCI *et al.*, 2008).

As soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano correspondem à modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização, porém, sem rede de distribuição (BRASIL, 2021).

#### 3.1.2 Garantia de qualidade da água e integridade do sistema

A adoção de sistemas individuais alternativos pode levar a população a utilizar fontes de abastecimento nem sempre seguras e adequadas do ponto de vista sanitário (NARDOCCI *et al.*, 2008).

Assim, os sistemas de abastecimento de água e as soluções alternativas coletivas devem ser preferencialmente utilizados, pois oferecem vantagens em relação aos sistemas individuais, especialmente em relação a garantia da qualidade da água. Essa condição é alicerçada pela legislação vigente, a qual estabelece que o responsável pelo sistema de abastecimento de água ou solução alternativa coletiva deve desenvolver ações visando o controle da qualidade, que é definido como um conjunto de atividades destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição (BRASIL, 2021).

De maneira adicional, o operador do sistema de abastecimento deve zelar pela integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede), ou seja, a qualidade da água produzida pelos processos de tratamento deve ser preservada até as ligações prediais e para tanto, o sistema deve ser permanentemente conservado em condições apropriadas de operação e manutenção.

Portanto, um sistema de abastecimento de água tem como objetivo captar a água de um manancial, tratá-la e distribuí-la através de redes de distribuição até as edificações para ser utilizada pela população, sendo que a água deve ser disponibilizada de forma ininterrupta, isenta de gosto e odor, bem como de substâncias tóxicas e de microrganismos patogênicos. Além disso, a água distribuída deve apresentar concentrações de cloro residual e flúor em conformidade com os padrões estabelecidos por lei. A água precisa ser potável e para tanto precisa atender as especificações previstas na Portaria GM/MS nº 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Um sistema de abastecimento de água deve fornecer água com as características que atendam aos padrões estéticos, com qualidade assegurada quanto aos padrões microbiológicos, à remoção de compostos orgânicos e inorgânicos, havendo uma preocupação adicional quanto aos produtos secundários gerados no processo de desinfecção da água, substâncias químicas que representam risco à saúde, como bromatos, cloraminas, trihalometanos e ácidos haloacéticos, entre outros, que também são monitoradas para atender as especificações legais.

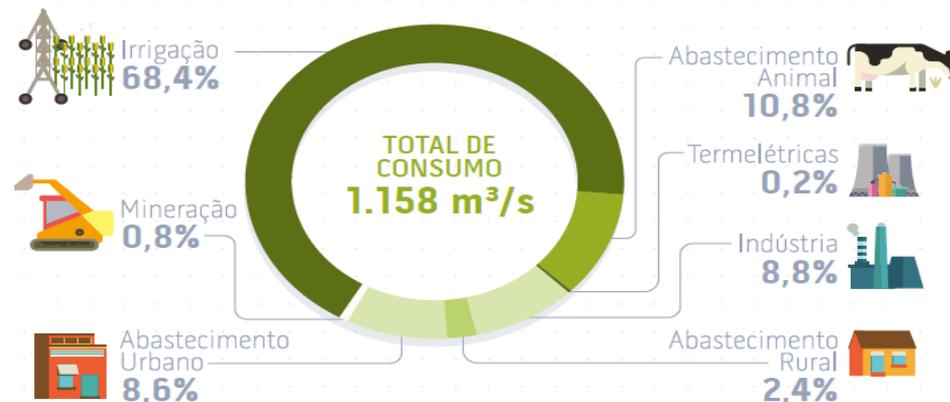
A água distribuída deve oferecer segurança para os usuários, tanto que a questão da segurança da água tem sido estudada sistematicamente como forma de garantir a preservação e a promoção da saúde pública. Assim, no ano de 2004, a Organização Mundial da Saúde - OMS passou a recomendar a elaboração de um Plano de Segurança da Água – PSA, inserido na Terceira Edição do Documento “Diretrizes da OMS para a Qualidade da Água Potável”, o qual considera que o meio mais eficaz de garantir a segurança de um sistema de abastecimento de água potável é através da utilização de uma abordagem de avaliação e gestão de risco, que englobe todas as etapas do abastecimento, do manancial até o consumidor, sendo a grande vantagem da estratégia do PSA, o fato dele ser aplicável para garantir a segurança da água em todos os tipos e tamanhos de sistemas de abastecimento de água, independentemente de sua simplicidade ou complexidade.

### 3.2 Usos da água

No Brasil, 68,4% da água consumida é utilizada na irrigação, 8,6% para abastecimento público em áreas urbanas e 8,8% é destinado ao uso industrial. Além desses, entre os principais usos da água no Brasil está a geração de energia, a mineração, a aquicultura, a navegação, o turismo e o lazer, conforme mostra a Figura 21.

## TOTAL DE ÁGUA CONSUMIDA NO BRASIL

(Média Anual)



**Figura 21.** Total de água consumida no Brasil (média anual).

Fonte: ANA, 2018.

Os usos da água podem ser classificados como consuntivos ou não consuntivos. Os usos consuntivos são aqueles que retiram água do manancial para serem utilizados em irrigação, na indústria e no abastecimento humano, por exemplo. Nesses casos há um consumo direto da água, o que não ocorre para os usos não consuntivos, como a geração de energia hidrelétrica, o lazer, a pesca e a navegação, que aproveitam o curso da água, porém sem consumo dela.

De acordo com a Lei nº 9.433 de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, em situações de escassez o uso prioritário da água é para o consumo humano e a dessedentação de animais. Em situações normais, a gestão da água deve considerar os seus múltiplos usos (BRASIL, 1997).

### 3.3 Classificação das águas naturais

Considerando o ciclo hidrológico, as águas naturais podem ser classificadas em águas meteóricas, superficiais e subterrâneas:

- As águas meteóricas, são as águas da chuva, neve e granizo;
- As águas superficiais, são as águas de rios, ribeirões, lagos naturais ou artificiais, reservatórios de acumulação e outros;
- As águas subterrâneas são águas de subsuperfície, formadas pelo excedente das águas de chuvas que percorrem camadas abaixo da superfície do solo e preenchem os es-

paços vazios existentes entre as rochas, em formações geológicas permeáveis que constituem os aquíferos subterrâneos (IRITANI, e EZAKI, 2009).

As águas subterrâneas, ou seja, a parcela de água da chuva que se infiltra no solo, passa por uma camada do terreno chamada zona não saturada ou zona de aeração, onde os poros são preenchidos por água e ar. Parte dessa água é utilizada pela vegetação, parte evapora e parte continua infiltrando no solo, até as camadas mais profundas, chamadas de zonas saturadas, onde todos os vazios são preenchidos por água (IRITANI e EZAKI, 2009).

O limite entre a zona não saturada e a zona saturada é chamado de lençol freático. Quando se perfura um poço raso, o nível da água observado representa a profundidade do lençol freático naquele ponto, o qual é chamado de nível freático, nível d'água ou nível potenciométrico (IRITANI, e EZAKI, 2009).

A NBR 12.216:1992 (ABNT, 1992) da ABNT referente ao “Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público” considera os seguintes tipos de águas naturais para abastecimento público:

- **Tipo A** - águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias sanitariamente protegidas, com características básicas definidas na Tabela 2, e as demais atendendo aos padrões de potabilidade;
- **Tipo B** - águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias não-protegidas, com características básicas definidas na Tabela 2, e que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade, mediante processo de tratamento que não exija coagulação;
- **Tipo C** - águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, com características básicas definidas na Tabela 2, e que exijam coagulação para enquadrar-se nos padrões de potabilidade;
- **Tipo D** - águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, sujeitas a fontes de poluição, com características básicas definidas na Tabela 2, e que exijam processos especiais de tratamento para que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade.

**Tabela 2.** Classificação de águas naturais para abastecimento público

Parâmetro	Unidade	Tipos			
		A	B	C	D
DBO <sub>5,20</sub> Média	(mg/L)	até 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
DBO <sub>5,20</sub> Máxima	(mg/L)	1 - 3	3 - 4	4 - 6	> 6
Coliformes Média mensal	(NMP/100 mL)	50 - 100	100– 5.000	5000 – 20.000	> 20.000
Coliformes Máximo	(NMP/100 mL)	> 100 em menos de 5% das amostras	> 5.000 em menos de 20% das amostras	> 20.000 em menos de 5% das amostras	-
pH		5 - 9	5 - 9	5 - 9	3,8 – 10,3
Cloretos	(mg/L)	> 50	50 - 250	250 - 600	> 600
Fluoretos	(mg/L)	> 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0	-

Fonte: Adaptado de NBR 12.216:1992 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público ABNT, 1992.

## 3.4 Características / propriedades da água

### 3.4.1 Características Físicas

As principais características físicas da água são cor, turbidez, sabor, odor e temperatura. Esses parâmetros envolvem aspectos de ordem estética e são caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para o consumo humano, mas que não necessariamente implicam em risco à saúde (padrões organolépticos), ou seja, atendidos os padrões de qualidade, não representam riscos sanitários (BRASIL, 2021).

#### 3.4.1.1 Cor

A presença de substâncias dissolvidas confere cor à água. Geralmente essa cor é decorrente de ácidos húmicos e fúlvicos originados pela decomposição de vegetais, de substâncias de natureza orgânica, e pode ser causada por certos resíduos e por alguns complexos metálicos. Os óxidos de ferro e manganês que estão presentes em diversos tipos de solo também podem conferir cor à água (CETESB, 2020).

#### 3.4.1.2 Turbidez

Os materiais sólidos em suspensão em estado coloidal conferem turbidez à água, que pode ser causada por partículas inorgânicas como areia, silte e argila, e detritos orgânicos como plâncton, algas e bactérias. Um aspecto importante para o controle da turbidez em águas de abastecimento é devido ao fato de que a turbidez pode reduzir a eficiência da cloração, pois os sólidos em suspensão oferecem uma proteção física quanto ao contato direto dos microrganismos com os desinfetantes (CETESB, 2020).

#### 3.4.1.3 Odor e Sabor

A sensação de sabor é decorrente da combinação entre gosto e odor. Esse parâmetro de qualidade é importante para a aceitabilidade da água, pois ainda que não esteja diretamente relacionado à segurança da água, pode levar o consumidor a procurar fontes alternativas de abastecimento nem sempre seguras do ponto de vista sanitário (NARDOCCI *et al.*, 2008).

Uma das alternativas empregadas para o controle de odor é a adsorção por carvão ativado granular adicionado durante o processo de tratamento da água (FUNASA, 2015).

A decomposição biológica da matéria orgânica é uma das principais fontes de odor nas águas naturais, mas há outros fatores naturais que podem produzir sabor e odor, como algas, vegetação em decomposição, bactérias, fungos, e compostos inorgânicos, como gás sulfídrico, sulfatos e cloretos. Ressalta-se que em águas eutrofizadas, sob condições específicas, a presença de algas é responsável pela produção de compostos odoríferos que representam uma grande preocupação para o abastecimento público e necessitam ser removidos pelos sistemas de tratamento de água (PIVELI e KATO, 2006).

A formação de gás sulfídrico, com odor característico de ovo podre, pode ocorrer em meio anaeróbio, devido ao lodo depositado no fundo das represas, e em situações críticas, pode estar presente em toda a massa líquida (PIVELI e KATO, 2006).

Dentre os fatores artificiais responsáveis por conferir sabor e odor às águas de abastecimento, destaca-se a presença de fenóis, que a partir da reação com o cloro residual livre liberam odor intenso (PIVELI e KATO, 2006).

A partir de critérios específicos de avaliação, a legislação estabelece limite para a Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor, com exceção do cloro livre, nas águas de abastecimento (BRASIL, 2021).

### 3.4.1.4 *Temperatura*

A temperatura é um fator ambiental muito importante no meio aquático pois interfere no metabolismo da biota, e também pode acelerar a velocidade das reações químicas e afetar a solubilidade dos gases dissolvidos na água, entre outros fatores. Nas águas de abastecimento, a temperatura pode acentuar a sensação de sabor e odor. Numa estação de tratamento de água, a temperatura da água, em conjunto com outros fatores, vai influenciar no tempo de contato observado para a desinfecção por meio de cloração ou de outros agentes desinfetantes (BRANCO e ROCHA, 1977; PIVELI e KATO, 2006).

As águas provenientes de mananciais subterrâneos podem apresentar temperaturas elevadas, sendo necessário o seu resfriamento antes de entrar no sistema de distribuição.

## 3.4.2 **Características Químicas**

As características químicas da água compreendem as substâncias dissolvidas, e geralmente são determinadas por análises químicas, considerando os métodos padronizados para cada substância, podendo ser utilizados medidores analíticos automáticos para alguns parâmetros. São fixados limites de concentração para essas substâncias por motivos de ordem sanitária e econômica.

### 3.4.2.1 *Salinidade*

A salinidade da água é constituída por um conjunto de sais dissolvidos na água formado pelos bicarbonatos, cloretos e sulfatos, além de outros sais, em menor concentração. Pode conferir sabor salino à água e efeitos laxativos. A presença de cloreto pode indicar a presença de esgotos domésticos nas águas. As águas subterrâneas são mais susceptíveis a apresentar salinidade elevada quando comparadas com as águas superficiais, mas as condições geológicas são determinantes dessa característica das águas (OLIVEIRA, 1987b).

### 3.4.2.2 *Dureza*

A dureza da água é uma característica conferida à água pela presença de sais de cálcio e magnésio (alcalino-terrosos) sob a forma de carbonatos, bicarbonatos e sulfatos. A dureza ocasionada pela presença de bicarbonatos é temporária, pois ela pode ser eliminada pelo calor ou por fervura. Isso não acontece quando a dureza é caracterizada pela presença de outros sais, e nesses casos ela é chamada de permanente (OLIVEIRA, 1987b e FUNASA, 2015).

É possível verificar se uma água é mais dura ou menos dura, pela maior ou menor facilidade em se obter espuma de sabão com essas águas, ou seja, as águas duras são caracterizadas pela extinção da espuma formada pelo sabão, o que traz uma série de inconvenientes, pois dificulta as práticas higiênicas, como tomar banho e lavar louça e utensílios domésticos. Essas águas podem ter sabor adocicado e em condições desfavoráveis de equilíbrio químico podem incrustar as tubulações (FUNASA, 2015).

#### 3.4.2.3 Alcalinidade

A alcalinidade resulta da presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, quase sempre de alcalinos ou alcalino-terrosos (sódio, potássio, cálcio, magnésio, etc.) e mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos. A quantificação da alcalinidade da água é importante pois ela interfere nos processos de coagulação da água. Em níveis elevados, a alcalinidade pode conferir sabor desagradável à água, mas em concentrações moderadas não tem nenhum significado sanitário. A alcalinidade das águas associa-se à dureza, e pode causar a precipitação de carbonatos que provocam a formação de incrustações em equipamentos e tubulações (OLIVEIRA, 1987b; PIVELI e KATO, 2006).

#### 3.4.2.4 Agressividade

A agressividade caracteriza a tendência da água a corroer os metais, e pode ser conferida pela presença em solução de oxigênio, gás carbônico e gás sulfídrico. O oxigênio é fator de corrosão dos produtos ferrosos; o gás sulfídrico, dos produtos não-ferrosos; e o gás carbônico, dos materiais a base de cimento (OLIVEIRA, 1987b).

#### 3.4.2.5 Ferro e Manganês

Na maioria das vezes, o ferro está associado ao manganês, e apesar de não se constituir em um elemento tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público, pois confere à água um sabor amargo, a sensação de adstringência e uma coloração avermelhada, decorrente de sua precipitação. Também pode manchar roupas e louças sanitárias e provocar deposições em tubulações (CETESB, 2020).

Os sais ferrosos são bastante solúveis em água e apresentam baixa velocidade de sedimentação. Para serem removidos em estações de tratamento de água, realiza-se uma pré-cloração, para promover a oxidação do ferro pelo cloro que favorece a formação de flocos, possibilitando a sua remoção nos decantadores. Ressalta-se que a pré-cloração deve ser evitada na presença de determinados tipos de compostos orgânicos, pois a reação com o cloro resultará na formação de trihalometanos, que são substâncias associadas ao desenvolvimento de câncer em humanos, porém, não há evidências estatisticamente conclusivas sobre essas correlações (PIVELI e KATO, 2006).

O manganês possui comportamento muito semelhante ao ferro e desenvolve uma coloração negra na água (OLIVEIRA, 1987b; PIVELI e KATO, 2006).

### 3.4.3 Características Biológicas

Os microrganismos que habitam as águas naturais, ao desenvolverem suas atividades biológicas de nutrição, reprodução, respiração e excreção, causam modificações na água, sendo, portanto, de grande interesse em relação ao abastecimento de água. Muitos desses organismos são patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, podendo provocar inúmeras doenças. As algas também estão presentes e podem causar sabor e odor à água, além de problemas na operação das estações de tratamento, pois podem entupir os filtros e causar distúrbios em outras partes do sistema.

As características biológicas da água são avaliadas por exames bacteriológicos e hidrobiológicos. Os microrganismos do grupo coliforme são utilizados como indicadores de contaminação fecal, e sua presença em águas de regiões de clima quente não pode ser ignorada, pois a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos é elevada. Desse modo, os coliformes fecais são utilizados como padrão legal para qualidade microbiológica de águas superficiais destinadas ao abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura (CETESB, 2020).

A sobrevivência dos organismos do grupo dos coliformes fecais no meio aquático é mais curta do que a observada para o grupo coliforme total, portanto, densidades elevadas de coliformes fecais indicam poluição relativamente recente.

Ultimamente, tem-se adotado como parâmetro de controle da poluição das águas a *Escherichia coli* (*E. coli*), por ser de origem exclusivamente fecal e por estar presente em elevadas densidades nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada em água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal (CETESB, 2020).

## 3.5 Partes constituintes de um sistema de abastecimento de água

Um sistema de abastecimento público de água é formado por um conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao fornecimento de água potável, que será utilizada pela população com diversas finalidades, em residências, instituições públicas, privadas, comerciais e em indústrias.

As etapas de um sistema de abastecimento de água compreendem: a captação no manancial, a adução, o tratamento, a reservação, a distribuição e a ligação domiciliar.

### 3.5.1 Manancial para abastecimento público

Os mananciais são as reservas hídricas ou as fontes de água utilizadas no abastecimento.

#### 3.5.1.1 Classificação dos mananciais

Os mananciais quanto a sua origem, podem ser classificados em superficiais e subterrâneos.

**a) Mananciais Superficiais**

Os mananciais superficiais são formados pelas águas superficiais, que conforme apresentado no item 3.2., são as águas que escoam e se acumulam na superfície da Terra, e compreendem as águas dos rios, represas, ribeirões, lagos e outros. Mesmo as nascentes, que são os locais onde se formam os corpos d'água, como as minas d'água e os mananciais de serra, são susceptíveis à poluição e contaminação, sendo que os mananciais de serra costumam ser mais protegidos, pois geralmente estão longe das interferências antrópicas. Os mananciais expostos, como os rios, reservatórios e represas, especialmente nos grandes centros urbanos, são impactados pelas condições de uso e ocupação do solo, especialmente pela ocupação irregular, espontânea e precária em seu entorno, conforme ilustrado na Figura 22 (REBOUÇAS *et al.*, 2002).



**Figura 22.** Urbanização no entorno da Represa Billings.

Foto: Acervo Sabesp

As águas oceânicas também podem ser consideradas mananciais de superfície, mas a sua utilização para abastecimento público requer o emprego de tecnologias avançadas de tratamento de água para a dessalinização.

Alguns autores consideram as águas meteóricas como manancial de abastecimento. Essas águas, precipitadas na forma de chuva, neve, geada, orvalho ou granizo podem ser aproveitadas para consumo humano. Em regiões sujeitas à escassez hídrica, a água da chuva pode ser reservada em estruturas relativamente simples, como as cisternas, concebidas para acumular essas águas, sendo utilizadas como fonte de abastecimento (REBOUÇAS *et al.*, 2002).

### ***b) Mananciais subterrâneos***

Os mananciais subterrâneos estão abaixo da superfície terrestre e compreendem os aquíferos freáticos e profundos, sendo que esses estoques de água, que ocorrem na subsuperfície da Terra, são de origem predominantemente meteórica, ou seja, derivam da infiltração natural de parte das águas da chuva, neve e outros, conforme apresentado no item 3.2.

As águas do lençol freático também estão expostas a riscos de poluição, mas há uma série de fatores interferentes que podem proteger essas águas, como a permeabilidade do solo, a profundidade do lençol, a declividade do terreno, entre outros. A fim de evitar a contaminação das águas dos lençóis freáticos, há uma série de normas que estabelecem a distância mínima entre as captações e as fossas, tanto no sentido horizontal quanto na vertical.

As águas dos lençóis profundos são as mais protegidas, mas também podem ser impactadas por fontes de poluição natural, por exemplo, pela presença de sais, flúor, e mesmo de ferro e manganês, que são geralmente encontrados em águas superficiais, associados à matéria orgânica.

### **3.5.1.2 Qualidade do manancial: um desafio ambiental da atualidade**

Considerando que um sistema de abastecimento de água começa no manancial, a qualidade da água captada vai afetar o processo como um todo.

O Brasil, conforme apresentado no item 2.2.2, possui um déficit expressivo em tratamento de esgotos, e assim, as águas que recebem esses esgotos podem se tornar impróprias em termos qualitativos para a utilização em sistemas de abastecimento, representando uma efetiva redução da disponibilidade hídrica, não pela quantidade, mas em termos qualitativos. Isso porque, o fator principal de degradação da qualidade da água é a diminuição dos níveis de oxigênio, que é consumido durante o processo de oxidação da matéria orgânica presente no meio, conforme será discutido adiante, no tópico sobre autodepuração dos corpos d'água.

Um esgoto sem tratamento, ou mesmo a carga orgânica remanescente de um processo de tratamento, o lançamento irregular de esgotos de origem industrial, as ligações equivocadas de esgotos em galerias de águas pluviais, tudo isso contribui para o aporte de carga orgânica e outros poluentes nos corpos d'água.

A indústria pode contribuir com uma série de substâncias, como os metais pesados, hidrocarbonetos, fenóis, minerais e outros resíduos de natureza bioquímica, provenientes da indústria farmacêutica, de alimentos e outros.

As questões relacionadas ao uso e ocupação do solo também interferem diretamente na qualidade dos mananciais. Exemplo relevante são os aglomerados urbanos existentes no entorno dos mananciais, que em condições precárias de acesso à infraestrutura de saneamento causam a degradação das águas, especialmente por matéria orgânica.

Da mesma forma, as áreas agrícolas irão contribuir com nutrientes, especialmente o nitrogênio e o fósforo, que em níveis elevados podem favorecer o desenvolvimento de algas e a consequente eutrofização dos reservatórios. Além dos resíduos de fertilizantes e adubos, as áreas agrícolas podem afetar a qualidade das águas de diversas formas, seja pelo aumento dos níveis de sais dissolvidos na água, da dureza, e ainda, podem acarretar problemas em função da utilização de agrotóxicos, inseticidas, pesticidas e herbicidas.

A Figura 23 retrata um reservatório de água protegido, afastado dos aglomerados urbanos, que não está sujeito aos efeitos deletérios resultantes das ações antrópicas.



**Figura 23.** Reservatório Cachoeira.

Foto: Acervo Sabesp

As águas de escoamento superficial, que arrastam a poluição difusa, são uma importante fonte de poluição das águas. Há outros fatores que contribuem para a poluição, como a erosão do solo que pode ser decorrente de causas naturais ou antrópicas, e a intrusão salina, que também tem sido apontada como um importante fator de degradação de aquíferos costeiros.

Destaca-se ainda, a questão relacionada aos desmatamentos, especialmente quando há remoção da cobertura vegetal original no entorno dos corpos hídricos, as chamadas matas

ciliares, cuja ausência contribui para aumentar o escoamento superficial e a erosão, podendo comprometer a qualidade e mesmo a quantidade da água disponível, pois possuem um efeito de filtro e tampão, contribuindo para evitar deslizamentos de terra e o assoreamento dos rios (KUNTSCHIK *et al.*, 2014).

Assim, o gerenciamento adequado e a utilização sustentável dos recursos hídricos, respeitando as condições naturais, as características e a vocação da bacia hidrográfica na qual eles se situam, são fundamentais para que os mananciais sejam fontes permanentes de água. Para garantir os usos múltiplos da água é imperativo zelar pela conservação dos solos, desenvolvendo ações visando o controle preventivo da aplicação de agrotóxicos e nutrientes nas áreas rurais, o controle das emissões de efluentes urbanos e industriais e o manejo adequado dos resíduos sólidos na área urbana.

### 3.5.2 Captação

O sistema de captação compreende um conjunto de equipamentos e estruturas utilizados para retirar a água dos mananciais. A captação, também chamada de tomada de água, pode ser por gravidade ou bombeamento. A água retirada ou captada dos mananciais é transportada por adutoras de água bruta até a Estação de Tratamento de Água (ETA).

A captação de água dos mananciais deve ser realizada em conformidade com as determinações legais, e depende de uma autorização, ou seja, está sujeita a obtenção de uma outorga de direito de uso da água, expedida pelos órgãos competentes. A Agência Nacional de Águas (ANA) é responsável pela emissão de outorgas para as águas de domínio da União, e os respectivos órgãos gestores de recursos hídricos de cada estado, são responsáveis pelas outorgas para as águas de domínio estadual, conforme detalhamento no Capítulo 7.

Essas autorizações são necessárias para a proteção e equilíbrio dos corpos d'água, permitindo o controle e o balanço das vazões retiradas e lançadas pelos usuários, de modo a garantir os múltiplos usos da água, a manutenção da vida aquática e a perenidade dos corpos hídricos.

#### 3.5.2.1 Captação de Água de Superfície

A captação de água é chamada de superficial quando a água é retirada de rios, córregos, lagos, represas, açudes, ou seja, é oriunda de mananciais superficiais.

A captação de águas de superfície pode ser feita em minas d'água, mananciais de serra e mananciais expostos, sendo empregados equipamentos e tecnologias distintas em cada caso.

A captação direta ou a fio d'água é feita diretamente no curso de água superficial, quando as condições de vazão e profundidade são suficientes para permitir a instalação de tubulação ou de outro dispositivo para a captação da água, chamados de tomada de água.

Nos casos em que a vazão de água é suficiente para atender às demandas, mas o nível do curso d'água não é bastante profundo para permitir a tomada de água direta, é feita uma barragem de regularização para elevação do nível de água de modo a permitir a captação.

Quando a vazão do corpo hídrico não é suficiente para atender à demanda de utilização, é necessária a construção de um reservatório para a regularização da vazão e acumulação de água. Esse tipo de captação também requer a construção de barragens de maior altura e no caso do abastecimento público, são geralmente estruturas de grande porte (Figura 24).



**Figura 24.** Barragem da Graça.

Foto: Acervo Sabesp

### 3.5.2.2 *Captação de Águas Subterrâneas*

A captação de águas subterrâneas pode ser realizada no lençol freático, mais próximo da superfície, por meio da escavação de poços para a retirada de água. Esses poços possuem diâmetro em torno de 1 (um) metro e podem ser abertos com ferramentas manuais, sendo denominados por poços manuais simples. Também podem ser perfurados mediante a utilização de trados ou pela cravação de hastes metálicas, dependendo do tipo de solo, e nesses casos são denominados por poços tubulares rasos.

Os poços manuais simples e os poços tubulares rasos são indicados para o abastecimento unifamiliar ou de pequenos agrupamentos populacionais. Existe outra modalidade de poços rasos, os chamados poços amazonas, geralmente instalados em locais onde a produtividade dos poços é baixa. Esses poços, podem armazenar uma quantidade maior de água, pois consistem em escavações com maior diâmetro, variando de 3 (três) a 6 (seis) metros, com profundidade de até 10 (dez) metros.

Outra forma de captação de água em mananciais subsuperficiais, com nível d'água localizado a pequenas profundidades, é a instalação de drenos, que são valas abertas a partir da superfície do terreno até atingir o aquífero, ou poços coletores. Sobre essas valas são assentados os tubos drenos, providos de pequenas ranhuras para coletar a água, sendo revestidos por uma manta porosa que vai funcionar como um filtro, evitando a entrada de materiais em suspensão na tubulação de drenagem.

No caso da retirada de água de mananciais profundos, é comum a utilização de poços tubulares profundos, que podem atingir quilômetros de profundidade e captar vazões elevadas de água. Esses poços são mais caros e sua instalação é precedida da execução de um projeto baseado em estudos hidrogeológicos desenvolvidos para determinar a melhor localização para a perfuração, buscando minimizar o risco de não encontrar água nessas escavações.

### 3.5.3 Adução

A função da adução num sistema de abastecimento de água é transportar a água da captação no manancial até a Estação de Tratamento de Água (ETA) através de uma canalização chamada de adutora de água bruta. Também são parte do sistema de abastecimento, as adutoras de água tratada, que transportam a água da ETA até o reservatório de distribuição. Geralmente, as adutoras não possuem derivações, o que impede o recebimento de contribuições em marcha, ou seja, não há entrada ou saída de água durante o percurso entre um ponto e outro. Entretanto, em alguns casos, podem haver subadutoras, que são ramificações que têm por finalidade conduzir a água até outros pontos do sistema, mas sem alcançar o usuário final.

As adutoras possuem importância fundamental num sistema de abastecimento de água, de modo que são necessários diversos cuidados tanto na elaboração dos projetos quanto na execução das obras, a fim de minimizar quaisquer problemas que possam ocorrer durante a operação dessas linhas, pois um acidente nessas estruturas, como o rompimento de uma adutora, pode provocar a interrupção do fornecimento de água para grande parte da população atendida, ou até comprometer o abastecimento de todo o município, no caso de sistemas que possuem apenas uma linha adutora, o que é bastante comum.

### 3.5.4 Tratamento de água para abastecimento público

Os sistemas de tratamento de água para abastecimento são uma importante barreira sanitária do ponto de vista de saúde pública. Esse é um conceito fundamental que associa saneamento e saúde.

Na década de 70, a Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS publicou um documento conjunto sobre abastecimento de água e saneamento no qual reconhece o tema como elemento essencial dos cuidados primários à saúde, enfatizando que poucos projetos de desenvolvimento têm tamanha relevância e potencial para beneficiar diretamente a saúde e o bem-estar social e econômico da humanidade quanto esses serviços (PAHO, 1979).

O documento discute os aspectos tecnológicos dos serviços de água e saneamento, trazendo uma visão ainda bastante atual sobre o tema, por exemplo, quando afirma que os processos e equipamentos serão adequados quando forem adaptados às condições locais existentes, integrados com as comunidades, tendo o foco social como uma das premissas básicas para a concepção dos sistemas (PAHO, 1979).

Estabelece que a tecnologia apropriada deve ser compatível com as condições sociais, culturais e econômicas dos locais onde será implantada; deve ser econômica, e preferencialmente barata, sendo simples o suficiente para ser adaptada ao estilo de vida individual e incorporada pela comunidade. Menciona, ainda, que a tecnologia apropriada deve ser compreendida pelas pessoas que a usam, em relação às suas finalidades e benefícios, sendo recomendável a utilização de materiais locais e o desenvolvimento da indústria local, tanto quanto possível, devendo ser simples de operar e fácil de manter (PAHO, 1979).

As informações trazidas pela OPAS já somam 43 anos, e como pode ser observado, publicações da atualidade validam esses conceitos e premissas, especialmente quanto ao fato de

que, sistemas simples e de pequeno porte, não devem ser considerados como empreendimentos de segunda categoria, mas apropriados, se a finalidade pretendida os solicitar. No caso do abastecimento de água, essa afirmação está diretamente associada à qualidade do manancial.

Sob esse aspecto, não é difícil concluir que se as iniciativas de controle e fiscalização da poluição não forem efetivas, essa afirmação talvez não se sustente nos próximos 50 anos, dada a crescente perda de qualidade das águas dos mananciais atualmente observada.

A concepção de uma estação de tratamento de água (ETA) está diretamente relacionada com a qualidade da água a ser tratada, que é severamente impactada pelas características de uso e montante da captação. Conforme mencionado, a água captada em fontes superficiais, como rios e lagos, está mais vulnerável ao aporte de matéria orgânica, pesticidas e metais pesados, sendo que a água proveniente de mananciais subterrâneos está mais protegida quanto a esses impactos, entretanto, está sujeita a outras ocorrências, por exemplo, temperaturas elevadas e presença de sais.

A qualidade físico-química e bacteriológica da água retirada do manancial define o tipo de tratamento necessário para atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021).

O tratamento da água pode ser feito de várias formas, mediante a adoção de métodos simplificados ou avançados, que variam em função da tecnologia empregada.

Quando a água é de boa qualidade, proveniente de mananciais protegidos, métodos de tratamento como a simples desinfecção podem ser indicados. Nesses casos, a água é apenas submetida à adição de produto desinfetante, geralmente, o cloro. Em outros casos, o tratamento requerido consiste em promover a filtração da água seguida de desinfecção, e assim, gradativamente, o nível de complexidade do tratamento vai evoluindo. Em todas essas situações está prevista a necessidade de fluoretação das águas.

Quanto mais comprometida estiver a qualidade do manancial, maior será a demanda por recursos tecnológicos, com grau de complexidade e sofisticação variáveis, visando garantir a eficácia do tratamento em cada caso.

O processo de tratamento convencional, composto por coagulação, floculação, decantação e filtração é largamente empregado no país, mas hoje, a adoção de tratamento por processos não convencionais, como os sistemas por membranas, já é uma necessidade observada em alguns mananciais urbanos.

Ferreira Filho (2017) afirma que é fundamental considerar as potencialidades e as limitações dos sistemas convencionais para o abastecimento público, que podem ser perfeitamente adequados quando bem projetados, construídos e operados, evitando-se o emprego de tecnologias de tratamento de alto custo, quando não justificáveis do ponto de vista técnico e científico.

Ressalta que sistemas convencionais de tratamento asseguram a qualidade estética e microbiológica da água tratada, além de possibilitar que os subprodutos formados na desinfecção permaneçam dentro dos limites legais, não oferecendo riscos à saúde humana. Entretanto, ainda que os sistemas convencionais apresentem alguma eficiência em relação à remoção de compostos inorgânicos, orgânicos sintéticos e agrotóxicos, não são projetados para essa finalidade, o que remete à necessidade de proteção e escolha adequada dos mananciais de abastecimento (FERREIRA FILHO, 2017).

Heller e Pádua (2016) mencionam que a melhor solução para o abastecimento de água não é necessariamente a mais econômica, a mais segura ou a mais moderna, mais sim, aquela mais apropriada à realidade social em que será aplicada. Assim, o processo de escolha do sistema de tratamento demanda a avaliação de diversas variáveis intervenientes, em diferentes contextos, por exemplo, no âmbito social, de saúde pública, tecnológico, econômico e ambiental.

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, o tratamento de água tem como finalidade básica, remover as impurezas da água de modo a torná-la própria para o consumo humano (BRASIL, 2021). É o processo que transforma a água bruta em água tratada, sendo a água tratada entendida como aquela que foi submetida a processos físicos, químicos ou a combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade.

Alguns autores estabelecem três objetivos distintos para o tratamento de água, sendo eles, higiênicos, estéticos e econômicos.

Os objetivos higiênicos estão diretamente relacionados à saúde e compreendem a remoção de bactérias e vírus, de substâncias tóxicas ou nocivas, de compostos orgânicos, de algas, de protozoários e outros microrganismos.

Os objetivos estéticos se referem à remoção de cor, turbidez, odor e sabor, pois não basta que água seja segura do ponto de vista da ausência de substâncias que possam comprometer a saúde, ela precisa ter características estéticas adequadas, para que não haja uma rejeição natural quanto a sua utilização, por exemplo, quanto ao sabor e odor desagradáveis.

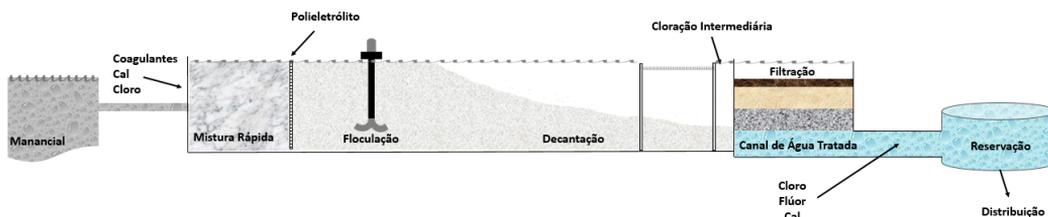
Compreendem os objetivos econômicos, a redução da corrosividade e da dureza, que podem trazer toda série de prejuízos, como a redução da vida útil das instalações, causada pela corrosão provocada pela acidez da água, e pela incrustação provocada pela alcalinidade da água. Além desses, a remoção de ferro e manganês também tem objetivos econômicos, pois essas substâncias podem produzir manchas em roupas e louças sanitárias brancas, entre outros.

De acordo com a Norma Brasileira - NBR 12.216:1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, uma estação de tratamento de água – ETA é um conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade (ABNT, 1992). A Norma estabelece 4 classes de tratamento, tipos A, B, C e D, conforme indicado a seguir.

- Tipo A - desinfecção e correção do pH (ABNT, 1992);
- Tipo B - desinfecção e correção do pH e, além disso:
  - a) decantação simples, para águas contendo sólidos sedimentáveis, quando, por meio desse processo, suas características se enquadrem nos padrões de potabilidade; ou
  - b) filtração, precedida ou não de decantação, para águas de turbidez natural, medida na entrada do filtro, sempre inferior a 40 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) e cor sempre inferior a 20 unidades, referidas aos Padrões de Platina, que é a escala padronizada de avaliação da cor da água especificamente concebida para detectar os tons de amarelo típicos de efluentes urbanos e de águas contendo matéria orgânica (ABNT, 1992);
- Tipo C - coagulação, seguida ou não de decantação, filtração em filtros rápidos, desinfecção e correção do pH (ABNT, 1992);
- Tipo D - tratamento mínimo do tipo C e tratamento complementar apropriado a cada caso (ABNT, 1992).

### 3.5.4.1 Sistema convencional de tratamento de água

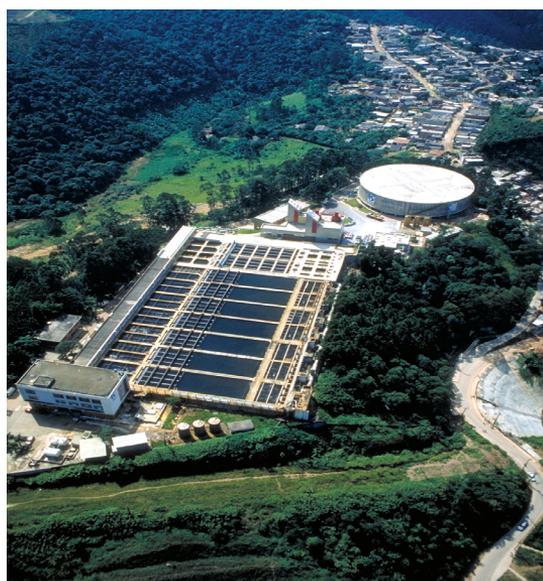
O tratamento convencional de água é realizado por processos físicos e químicos e sua estrutura é composta por uma sequência de instalações destinadas à coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção da água, conforme mostra a Figura 25.



**Figura 25.** Etapas de um sistema convencional de tratamento de água.

Elaborado pelos autores

O sistema convencional remove as impurezas da água por processos físicos de decantação e filtração. A água captada nos mananciais chega à estação de tratamento com elevada cor e turbidez, e contém uma série de partículas coloidais, que possuem diâmetro médio entre 1 e 1.000  $\eta\text{m}$ . Essas partículas, por serem pequenas e leves, não conseguem sedimentar, ou seja, chegar ao fundo dos decantadores pela simples ação da gravidade, sendo necessário adicionar produtos químicos à água para auxiliar nesse processo. A Figura 26 apresenta a vista aérea de uma estação convencional de tratamento de água.



**Figura 26.** Vista aérea de uma ETA convencional.

Foto: Acervo Sabesp

### *a) Coagulação*

Assim que a água chega na estação de tratamento recebe a adição de produtos químicos que irão auxiliar e potencializar o processo de tratamento (Figura 27). A etapa inicial do processo consiste, portanto, na coagulação química da água pela adição de um coagulante, geralmente o sulfato de alumínio, o cloreto de polialumínio, ou também sais de ferro, que podem ser o sulfato ou o cloreto férrico.

Nesse processo o meio se torna ácido sendo necessário adicionar ao tratamento um elemento pré-alcalinizante, geralmente a cal virgem ou hidratada, carbonato de cálcio ou outras substâncias, para a elevação do pH.



**Figura 27.** Adição de coagulante e alcalinizante no início do processo de tratamento.

Foto: Acervo SABESP

Visando a oxidação do ferro e do manganês solúvel, a água também recebe a adição de substâncias pré-oxidantes logo no início do tratamento. O cloro é muito utilizado para essa finalidade nessa etapa do processo.

Mais recentemente, tem-se utilizado polímeros visando a otimização dos processos de floculação e filtração da água, que além de aumentar o rendimento do filtro e a reduzir o volume dos sedimentos, não necessitam de ajuste do pH.

Assim que recebe o coagulante, a água passa por um processo de mistura rápida que possibilitará a dispersão dos coagulantes adicionados. Essa mistura geralmente é realizada sem a necessidade de equipamentos mecânicos, podendo ser utilizada a própria energia da água, que geralmente chega à estação por meio de bombeamento sob pressão, em elevados níveis de energia, que é aproveitada para realizar a mistura dos coagulantes em câmaras dimensionadas para esse fim, os tanques de mistura rápida (Figura 28).



**Figura 28.** Câmara de mistura rápida.

Foto: Acervo SABESP

Nesses tanques, ocorre a desestabilização das partículas pela reação do coagulante com a água, gerando partículas carregadas positivamente, íons positivos que irão atrair as impurezas presentes na água, que são naturalmente carregadas com carga superficial negativa.

#### ***b) Floculação***

A atração entre essas partículas possibilitará a formação dos flocos, frações maiores e mais pesadas que podem ser removidas por sedimentação. Assim, nessa fase do tratamento, a água passa por câmaras de floculação, que possibilitam o contato e a aglutinação das partículas, formando os flocos. Nos floculadores, a água é agitada lentamente, porém com uma intensidade controlada para evitar a quebra dos flocos formados.

#### ***c) Decantação***

Após o floculador, a água passa para a próxima etapa do tratamento, que é a decantação, onde ocorre a remoção do material em suspensão. Nos decantadores, a velocidade da água é ainda mais lenta, possibilitando a sedimentação dos flocos pela ação da gravidade.

Nos decantadores ocorre a chamada clarificação da água, pela redução da turbidez em níveis de eficiência que possibilitem a remoção do material remanescente pelos filtros, sem causar obstruções excessivas nessas unidades, de modo a manter as taxas de filtração dentro dos parâmetros estabelecidos em projeto.

Um decantador deve ser projetado de tal forma que haja uma distribuição uniforme da entrada de água nessas unidades, evitando que sejam estabelecidas correntes preferenciais secundárias, não projetadas, entre a entrada e a saída do decantador, os “curtos-circuitos hidráulicos” que prejudicam a eficiência do sistema. Desse modo, para possibilitar a entrada da água no decantador de maneira uniforme, os mesmos possuem uma cortina de distribuição que pode ser construída com tábuas de madeira superpostas, alvenaria ou concreto, contendo orifícios para a passagem da água, dimensionados conforme norma específica.

Da mesma forma, a água decantada deve ser coletada de maneira uniforme na saída no decantador, minimizando a perda de flocos nos decantadores, que são posteriormente remo-

vidos no processo de filtração. Para tanto, a saída do decantador geralmente possui canaletas na sua parte superior, providas de vertedores triangulares que coletam a água decantada de maneira uniforme.

A Figura 29 apresenta a vista aérea de uma estação de tratamento de água, e o detalhe das canaletas de saída dos decantadores.

A água decantada é conduzida para os filtros através dos canais de alimentação dos filtros, e nessa canalização recebe uma nova dosagem de cloro, que é usualmente chamada de cloração intermediária.



**Figura 29.** (a) Vista aérea de uma ETA, com destaque para a saída dos decantadores.  
(b) Saída dos decantadores.

Foto: Acervo SABESP

### *c.1.) O lodo da ETA*

O material sedimentado durante o processo de decantação constitui o lodo da estação de tratamento de água, e deve ser encaminhado para uma destinação final adequada.

Nos projetos mais modernos, a remoção do lodo pode ser contínua, por mecanismos de sucção do lodo, ou semicontínua, quando se acumula o lodo dos decantadores em poços, para posterior retirada.

Nas estações mais antigas, o lodo sedimentado forma uma camada no fundo do decantador, que deve ser removida periodicamente por processos manuais ou mecânicos. O intervalo entre as operações de limpeza é variável, pois depende, principalmente, da natureza da água e da quantidade de coagulantes adicionada. A fim de evitar a paralização do processo de tratamento de água durante as operações de limpeza, as estações possuem pelo menos duas unidades de decantação, para que uma fique em operação enquanto a outra é submetido à limpeza.

A remoção do lodo dos decantadores é fundamental para a manutenção da ETA em boas condições operacionais, contribuindo, também, para a qualidade da água, pois o lodo acumulado por longos períodos, pode entrar em decomposição, conferindo odor e sabor à água.

**d) Filtração**

A água que sai do decantador é submetida à filtração para a remoção das partículas em suspensão, que não foram retidas na decantação. Existem diversos tipos de filtros e processos de filtração, sendo que os filtros rápidos de fluxo descendente geralmente são os mais empregados.

Esses filtros são compostos por camadas de materiais granulares filtrantes, sendo usualmente utilizados a areia e o carvão mineral antracito, num sistema de dupla camada de filtração. Essas camadas se acomodam sobre bases de pedregulho e cascalho, com diferentes granulometrias, que não participam do processo com a função de filtragem da água, sendo apenas utilizadas como camada de suporte para sustentação do leito filtrante, conforme o esquema apresentado na Figura 30.

No processo de filtração para a remoção dos sólidos remanescentes da decantação, como materiais finos orgânicos e inorgânicos, a água decantada entra no filtro pela sua camada superior e a água filtrada sai pela parte inferior do filtro. Esse processo pode contar com sistemas auxiliares para lavagem superficial.

CAMADA	ALTURA	MATERIAL	
1	56 cm	Carvão antracito	Camadas Filtrantes
2	30 cm	Areia (quartzola)	
3	7,5 cm	Pedregulho (seixo)	Camadas Suporte
4	7,5 cm	Pedregulho (seixo)	
5	7,5 cm	Pedregulho (seixo)	
6	7,5 cm	Pedregulho (seixo)	
7	16 cm	Pedregulho (seixo)	

**Figura 30.** Detalhe das camadas de um filtro de fluxo descendente.

Fonte: Elaborado pelos autores

A medida em que a água vai passando pelas camadas filtrantes, os flocos vão sendo retidos e acabam provocando a colmatção das camadas, que é o preenchimento dos espaços por onde a água deve passar, ou seja, há um aumento da resistência à passagem da água, diminuindo a eficiência do processo.

Desse modo, em intervalos regulares, é necessário realizar a lavagem do leito filtrante, e para tanto fecha-se a entrada da água decantada nos filtros, e inicia-se a injeção de água de lavagem, numa operação chamada de inversão de corrente, pois há uma inversão no sentido do fluxo da água. A água de lavagem entra no filtro por sua camada inferior, revolvendo as camadas de areia e antracito, que por atrito vão removendo a sujeira acumulada. Essa água é encaminhada para sistemas específicos de recuperação para posterior retorno ao início do processo de tratamento.

É intuitivo imaginar que a água passe inicialmente pelas camadas preenchidas com material de maior granulometria, entretanto, esses filtros não permitem essa configuração, pois quando a lavagem em contracorrente é encerrada, as camadas revolvidas voltam a se acomodar, e por gravidade, vão retomando sua configuração inicial, na qual os materiais com maior densidade permanecem na parte inferior do filtro, seguidos, sucessivamente pelas outras camadas que compõem o filtro. Após a lavagem dos filtros, fecha-se o sistema de admissão de água de lavagem e passa-se a receber a água oriunda dos decantadores, reiniciando processo de filtração. A Figura 31 ilustra as etapas de lavagem dos filtros.



**Figura 31.** Processo de lavagem de filtro.

Fotos e elaboração pelos autores

*e) Desinfecção*

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021, toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, deverá passar por processo de desinfecção ou cloração, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede). A Portaria recomenda também que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 2 mg/L (BRASIL, 2021).

Estabelece ainda, que no caso do uso de ozônio ou radiação ultravioleta como desinfetante, deverá ser adicionado cloro ou dióxido de cloro, de forma a manter residual mínimo no sistema de distribuição e que para a utilização de outro agente desinfetante, além dos citados..., deve-se consultar o Ministério da Saúde, por intermédio da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde - SVS/MS (BRASIL, 2021).

Todas essas exigências, bem como o direcionamento explícito para a utilização do cloro possuem uma razão, conforme esclarece a própria Portaria, mencionando que os produtos químicos derivados de cloro são os mais empregados, em virtude do poder de manutenção de um residual desinfetante na água do sistema de distribuição (BRASIL, 2021).

A necessidade de assegurar o residual de cloro na rede tem caráter preventivo, no sentido de neutralizar eventuais contaminações após o tratamento, no sistema de distribuição, sendo que esse residual de agente desinfetante (cloro residual livre, cloro residual combinado ou dióxido de cloro) permite avaliar a eficácia do processo de desinfecção da água utilizada para consumo humano e ainda é uma garantia de segurança quanto à inativação de organismos patogênicos.

Por muito tempo e ainda nos dias de hoje, o termo cloração é usado como sinônimo de desinfecção na prática operacional dos sistemas de abastecimento de água.

A reação do cloro com alguns compostos orgânicos leva à formação de trihalometanos (THM). No caso dos sistemas de abastecimento de água, os ácidos fúlvicos e húmicos presentes nos mananciais devido à decomposição de folhas da vegetação são chamados “precursores” dos trihalometanos (MEYER, 1994). A formação dos THM se inicia quando o cloro entra em contato com os precursores e é um processo lento que pode se desenvolver enquanto houver reagente disponível, principalmente o cloro livre. Vale ressaltar que os estudos epidemiológicos correlacionando a concentração dos THM com a incidência de câncer não são estatisticamente conclusivos, mas algumas evidências positivas foram identificadas (MEYER, 1994).

Desse modo, a Portaria GM/MS nº888/21 (BRASIL, 2021) estabelece limites para substâncias químicas que podem representar risco à saúde, e a concentração máxima admissível de THM nas águas de abastecimento é de 0,1 mg.L<sup>-1</sup>, contemplando as seguintes substâncias: Triclorometano ou Clorofórmio (TCM), Bromodiclorometano (BDCM), Dibromoclorometano (DBCM), Tribromometano ou Bromofórmio (TBM).

De acordo com E. J. Laubusch (1971), citado por Meyer (1994), a eficiência da desinfecção está associada a um conjunto de fatores relativos à natureza e concentração do organismo a ser destruído e do desinfetante utilizado, além de outras variáveis, como o tempo de

contato do agente desinfetante com a água e seu grau de dispersão, além das características químicas e físicas da água.

Alguns microrganismos são mais resistentes à ação dos desinfetantes, pois sua membrana celular pode ser uma barreira à penetração do desinfetante, por exemplo, as espécies formadoras de esporos e as formas encistadas, como os cistos de protozoários, e os ovos de helmintos.

Quanto maior a densidade de organismos, maior será a demanda pelo agente desinfetante, além disso, a presença de sólidos em suspensão pode oferecer uma proteção física aos microrganismos que ficam adsorvidos às superfícies desses materiais, protegendo-os da ação do cloro. Essas partículas, com os microrganismos adsorvidos, podem se agregar para formar aglomerados, proporcionando proteção adicional quanto à penetração do agente desinfetante. Assim, para que a desinfecção seja realizada de forma adequada, a água deve ter sido pré-tratada para reduzir a concentração de materiais sólidos a um nível aceitável (ROSSIN, 1987).

Outros fatores como a concentração do desinfetante e o tempo de reação também interferem na desinfecção. Deste modo, numa análise simplista, pode-se utilizar altas concentrações e pouco tempo, ou baixas concentrações e um tempo elevado.

As características da água, como o pH e a temperatura, também irão interferir na desinfecção. As águas com baixos valores de pH e alcalinidade são mais facilmente desinfetadas, e em geral, como na maioria dos processos, nas águas com temperaturas elevadas a cloração é mais efetiva e rápida, porém, o cloro é mais estável em água fria, permanecendo por mais tempo na água. Desse modo, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece o tempo de contato mínimo a ser observado para a desinfecção por meio da cloração, em função da temperatura e o pH da água, para concentrações de cloro residual livre variando de  $\leq 0,4$  a  $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$  (BRASIL, 2021).

O grau de dispersão dos desinfetantes químicos e sua distribuição uniforme na água também podem favorecer a desinfecção, assim a agitação da água para mistura com o desinfetante é fator fundamental para uma cloração bem-sucedida, havendo uma relação direta entre o grau de mistura e o tempo de contato.

Há uma série de processos e agentes desinfetantes conhecidos, como a ozonização, a irradiação, a oxidação química, a elevação da temperatura e outros meios físicos, entretanto, eles devem possuir alguns atributos quando empregados em sistemas de abastecimento de água, de tal modo que não devem ser tóxicos para o homem e para os animais, não devem causar à água gosto e odor que prejudiquem o seu consumo, devem estar disponíveis a custo razoável e apresentar facilidade e segurança no transporte, armazenamento, manuseio e aplicação, devem ser facilmente mensuráveis, e conforme mencionado, devem produzir residuais resistentes na água, de maneira a constituir uma barreira sanitária contra eventuais recontaminações antes do uso.

A substituição do cloro por outro desinfetante no tratamento da água pode trazer mais riscos do que benefícios. A diminuição da incidência de doenças transmissíveis pela água somente foi alcançada mediante o seu tratamento adequado em sistemas de abastecimento público com o emprego da técnica da cloração para desinfecção da água, conforme discutido no Capítulo 2 (MEYER, 1994).

*f) Fluoretação*

A fluoretação das águas de abastecimento é uma operação complementar ao tratamento da água e, portanto, não tem nenhuma relação com o processo de recuperação da água, para a remoção de impurezas, de contaminantes e patógenos presentes na água bruta.

A Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021) define fluoretação em relação ao teor de concentração do íon fluoreto presente na água destinada ao consumo humano, apto a produzir os efeitos desejados à prevenção da cárie dental. E foi apenas com essa finalidade, considerando as evidências de que o flúor é um elemento benéfico no que diz respeito à prevenção da cárie dentária, que o flúor passou a ser adicionado às águas de abastecimento público, pois trata-se de uma das medidas de saúde pública mais importantes no controle da cárie dentária.

É fundamental observar a dosagem a ser ingerida, pois a eficácia da fluoretação pode ficar comprometida se a ingestão for em baixas dosagens, e no caso inverso, doses elevadas de ingestão de flúor por períodos prolongados podem ocasionar, a princípio, manchas esbranquiçadas no esmalte dental, e atingindo-se um grau de severidade elevado, causam deformações que levam à perda da estrutura dentária. Casos ainda mais graves são associados à fluorose óssea, que é a descalcificação de ossos em idosos.

Diante disso, é necessário um rigoroso controle das dosagens a serem aplicadas nas águas de abastecimento, que devem atender às especificações da Portaria e ainda, levar em consideração as características da água bruta em cada local, pois em áreas ricas em minerais contendo flúor, a água pode conter elevadas concentrações de flúor, especialmente no caso de captações em mananciais subterrâneos.

O setor de saneamento tem utilizado o ácido fluossilícico como matéria prima para a fluoretação da água. É um subproduto da indústria de fertilizantes e tem como principais vantagens a facilidade de aquisição e o baixo custo, e por se apresentar na forma líquida, facilita o transporte e a aplicação.

O ácido fluossilícico, assim que passou a ser utilizado no tratamento de água, sofreu uma elevação no preço em decorrência do aumento da demanda, que afetou seu valor de mercado.

*3.5.4.2 Sistemas de tratamento avançado*

A qualidade da água do manancial é fator elementar para a escolha do processo de tratamento a ser empregado. Quando o manancial não é de boa qualidade, o tratamento convencional pode não ser adequado para a produção de água compatível com os níveis legais exigidos. Assim, os chamados sistemas avançados de tratamento podem ser requeridos. Atualmente, o Brasil possui domínio da tecnologia para tratamento de águas fortemente degradadas tornando-as potáveis para o consumo humano, entretanto, o seu uso é ainda bastante restrito. Os custos relacionados a esses tratamentos estão cada vez mais acessíveis, mas ainda são elevados e podem ser um limitador à adoção desses processos. Entretanto, estudos de viabilidade econômica, considerando a relação benefício/custo devem ser desenvolvidos quando houver indicação para os processos avançados de tratamento.

Essas tecnologias cada vez mais vêm sendo utilizadas em grandes centros urbanos, onde há ocupação desordenada intensiva em torno dos mananciais e carência em serviços de cole-

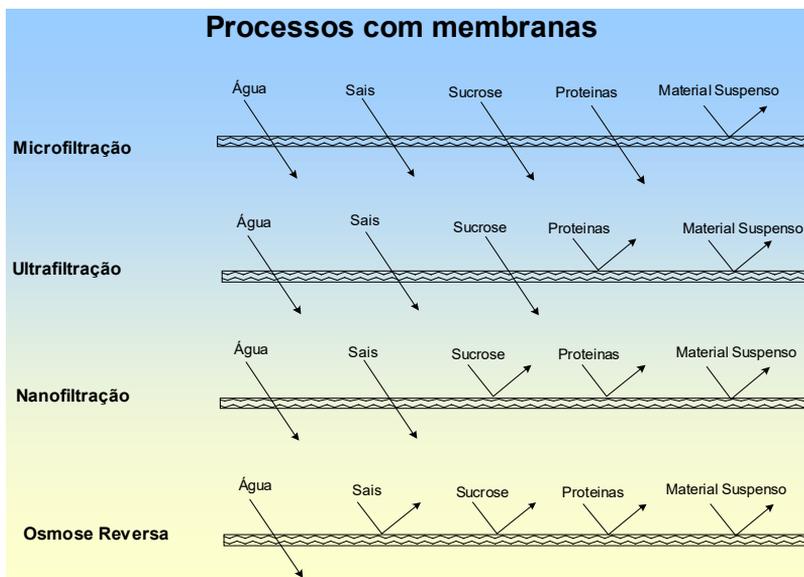
ta e tratamento de esgotos, comprometendo a qualidade das águas disponíveis. Geralmente nesses centros, a falta de área disponível para a implantação das estações de tratamento convencionais também pode ser um problema, o que aponta para a adoção de tecnologias como os sistemas de tratamento por membranas, mais compactos.

Dentre as tecnologias disponíveis podem ser destacados os sistemas convencionais de tratamento combinados com adsorção por carvão ativado. O carvão ativado é empregado pois possui alta capacidade de adsorção, com elevada eficiência de remoção dos contaminantes presentes na água.

Os chamados processos oxidativos avançados, também são tecnologias conhecidas e empregadas para a descontaminação da água, com utilização de ozônio, peróxido de hidrogênio, fotocatalise, entre outros, sendo mais comuns em sistemas de tratamento de água para uso industrial.

A utilização de sistemas de tratamento por membranas está se difundindo e ganhando espaço no saneamento. Esses sistemas podem ser por microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, conforme a Figura 32.

A microfiltração e a ultrafiltração são indicados nos processos para separação sólido/líquido e eliminação de partículas. A ultrafiltração remove partículas minerais, orgânicas e biológicas, como algas, bactérias e vírus. A nanofiltração e a osmose reversa, podem reter partículas ainda menores, sendo que a nanofiltração é recomendada em processos de desmineralização de águas salobras ou pouco salinas e a osmose reversa é utilizada em processos de dessalinização da água do mar ou águas salobras.



**Figura 32.** Processos de separação por membranas.

Adaptado pelos autores a partir de PENTAIR<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Disponível em: <https://xflow.pentair.com/pt-pt/spectrum/membrane-technology-in-general>. Acesso em: 10 mar.2019

### 3.5.5 Reservação de Água

Depois de tratada, a água é armazenada em reservatórios de distribuição que abastecem os reservatórios de bairros, estrategicamente localizados.

Esses reservatórios têm a finalidade atender às variações de consumo pela população, e suprir eventuais demandas de emergência pela interrupção do fornecimento de água, que pode ocorrer por razões diversas, como falhas no sistema de abastecimento, paradas estratégicas para manutenção preventiva, entre outros. Os reservatórios também influem nas condições de pressão nas redes de distribuição. Alguns reservatórios são dimensionados considerando um volume de água para combate a incêndios.

A qualidade da água no interior dos reservatórios de distribuição também deve ser observada e para isso alguns cuidados devem ser tomados na concepção dos sistemas de reservação, para evitar a deterioração da qualidade da água tratada.

Assim, o dimensionamento dos volumes de reservação deve levar em consideração as vazões aduzidas, de modo a evitar que o tempo de residência da água no reservatório (tempo de detenção hidráulica) seja elevado, pois essa condição é favorável ao crescimento de bactérias no reservatório e a conseqüente queda na concentração do cloro residual na água. Além disso, a configuração dos dispositivos de entrada e saída de água do reservatório deve possibilitar o fluxo adequado da água de modo a evitar a formação de zonas de estagnação e a estratificação da água de diferentes idades no interior do reservatório, fatores que podem contribuir para a perda da qualidade da água.

### 3.5.6 Distribuição de Água

A água que sai dos reservatórios segue pelas adutoras, que são tubulações maiores, e entra nas redes de distribuição que são os elementos do sistema que transportam a água até chegar ao consumidor final.

A NBR 12.218:2017 da ABNT define a rede de distribuição como a parte do sistema de abastecimento formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas (ABNT, 2017).

Portanto, a rede de distribuição deve garantir que a água produzida chegue ao consumidor final de forma contínua, com a qualidade requerida, em quantidade e pressão adequadas, conforme a legislação e normas vigentes.

As redes recebem esse nome por sua configuração em forma de uma “rede” formada pelo conjunto das tubulações assentadas na via pública até os pontos de consumo.

Falhas acidentais ou mecânicas no sistema de distribuição podem resultar em perdas de água ou na introdução de contaminantes e poluentes no abastecimento de água. Isso acontece por razões físicas, pois os sistemas de distribuição de água operam sob pressão, em condutos forçados, ou seja, nesses condutos, a água preenche toda a seção da rede. Quando ocorre uma interrupção no abastecimento de água, a água que está no interior das redes de distribuição é consumida até o final, esvaziando-a, e essa ocorrência gera uma pressão negativa na rede. Se as redes possuírem trincas ou juntas defeituosas, a carga poluidora que está

ao redor das redes, do lado de fora, é aspirada para o interior das redes. Ao ser restabelecido o fornecimento de água, esses contaminantes que entraram na rede de distribuição podem chegar ao consumidor final.

É para a proteção quanto aos possíveis efeitos deletérios decorrentes de eventos dessa natureza que a manutenção do cloro residual na rede é tão importante. Por essa razão, além do monitoramento da qualidade da água na própria estação, é necessário que esta avaliação também seja realizada nas pontas de rede, que são o final da linha de distribuição (MEYER, 1994).

Para garantir a qualidade da água no sistema de distribuição são realizadas periodicamente as descargas de ponta de rede, pois uma característica desse sistema é a acumulação de sedimentos em seus pontos terminais. Esse procedimento consiste na abertura de válvulas de descarga que são colocadas nos pontos baixos da rede e são utilizadas para esvaziar a tubulação quando houver necessidade.

### 3.5.7 Instalações prediais

A água disponibilizada pelas redes de distribuição chega até os locais de consumo através da ligação predial de água, que é composta por um dispositivo para a tomada de água, ramal predial e hidrômetro.

O ramal predial é a canalização situada entre a rede de distribuição e o hidrômetro, sendo que ele se conecta à rede de distribuição por meio da tomada de água, que é uma singularidade do sistema que possibilita essa conexão. O hidrômetro é o equipamento destinado a medir a quantidade de água fornecida pela rede de distribuição para a instalação predial.

Após o hidrômetro, as canalizações, equipamentos, reservatórios e outros componentes que compõem o sistema predial irão levar a água até os pontos de utilização.

O prestador de serviços de saneamento é responsável pela qualidade da água até o hidrômetro e a partir desse ponto, cabe ao usuário zelar pelas boas condições do sistema predial, de modo a não comprometer a qualidade da água recebida.

Dentre os componentes do sistema predial, as caixas d'água representam o ponto mais frágil do sistema de abastecimento, pois se não houver limpeza periódica, tornam-se fonte de contaminação da água. Por essa razão, é tão importante cuidar das instalações internas e realizar a limpeza periódica e a conservação do reservatório domiciliar (NARDOCCI *et al.*, 2008).

Conforme mencionado, a manutenção do cloro residual na rede é fundamental para garantir a qualidade da água até o ponto consumo. Entretanto, em algumas situações, os usuários optam por instalar reservatórios domiciliares (caixas d'água) superdimensionados, para garantir o suprimento de água em casos de escassez hídrica e eventos de falta d'água. Como o cloro é um elemento não conservativo, sua concentração pode sofrer um decaimento nesses sistemas de reservação, seja pela falta de manutenção e limpeza, e nesse ocorrem reações entre o cloro e os organismos e impurezas presentes que podem consumir todo o cloro residual, e até mesmo em decorrência dos longos períodos de armazenamento, sendo que o decaimento do cloro aumenta em função do tempo de residência e da temperatura da água. Nesses casos, para compensar a perda do residual de cloro, pode ser necessário efetuar um reforço de cloração.

# Capítulo 4

## Sistemas de Esgotos Sanitários

### 4.1 A composição dos esgotos

Os esgotos representam a parcela líquida dos resíduos produzidos por uma sociedade a partir dos usos da água empregados para as mais diversas finalidades.

A Resolução do Conselho do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, traz a definição de esgotos sanitários, como a *denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos* (CONAMA, 2011).

O lançamento de esgotos sem tratamento num corpo d'água constitui-se num dos principais problemas ambientais e de saúde pública enfrentados na atualidade, pois pode provocar efeitos adversos ao meio ambiente aquático, alterando sua fauna e flora, além disso, pode representar risco a saúde humana em função dos elementos patogênicos que apresenta em sua composição (NIHONMATSU, 2005).

Assim, é fundamental coletar e tratar os esgotos para promover sua disposição final de forma ambientalmente adequada.

Os esgotos são formados a partir da utilização da água pelo homem. Assim, os esgotos gerados possuem diferentes condições de qualidade e quantidade, pois as suas características são variáveis conforme o uso predominante da água, em atividades comerciais, industriais ou domésticas. As características dos esgotos produzidos podem ser expressas em função de parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Os esgotos podem ser classificados em dois grupos: (i) os esgotos sanitários, compostos principalmente por despejos de origem doméstica, e (ii) os esgotos industriais, oriundos da utilização da água para fins de produção industrial.

Os esgotos com características domésticas ou domiciliares são gerados em residências, em edificações comerciais, em instituições públicas ou privadas que possuam banheiros, cozinhas ou lavanderias, ou seja, é todo o esgoto gerado a partir da utilização da água com finalidades domésticas.

Os esgotos industriais variam em função dos processos produtivos, tanto em qualidade como em quantidade.

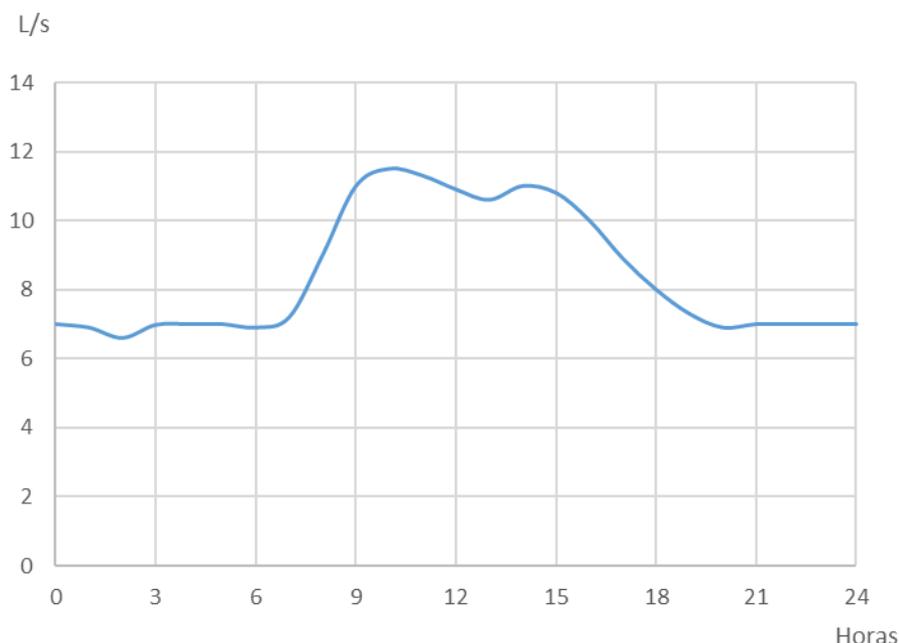
A parcela de água de infiltração presente nos esgotos sanitários é introduzida ao sistema coletor através de tubulações, juntas e conexões defeituosas, que possibilitam a infiltração da água no sistema. A estimativa da vazão de infiltração depende de uma série de fatores, relacionados à extensão da rede, ao tipo de solo e distância do lençol freático, entre outros, sendo geralmente estabelecida uma taxa de contribuição de infiltração expressa em termos de vazão por extensão de rede, medida em  $L.s^{-1}.m^{-1}$ .

## 4.2 Características físicas

### 4.2.1 Vazão dos esgotos

A vazão dos esgotos expressa a relação entre o volume de esgotos transportado em determinado intervalo de tempo. A vazão é um elemento importante utilizado no dimensionamento das estações de tratamento de esgotos e pode variar em função das características da região atendida, das condições climáticas, do estágio de urbanização, da disponibilidade hídrica local, do nível socioeconômico da população, e ainda, dos hábitos de higiene.

A Figura 33 apresenta um hidrograma típico de esgotos observado na cidade do Rio de Janeiro.



**Figura 33.** Hidrograma típico.

Fonte: Pessoa e Jordão, 2017.

Uma relação bastante utilizada para medir a quantidade de esgotos gerados tem como referência o consumo de água em atividades domésticas, sendo estimada da seguinte forma: para cada 100 L de água consumidos são gerados 80L de esgotos. A relação entre o volume de esgoto produzido e a água efetivamente consumida é chamada de coeficiente de retorno, e na falta de dados específicos de cada local, geralmente adota-se o valor de 0,8 para o coeficiente de retorno, representando que 80% da água consumida em atividades domésticas vai para o sistema de esgotos, sendo que o restante pode ter como destino a galeria de águas pluviais, pela lavagem do chão e de carros, ou a infiltração no solo, pela rega de jardins.

Uma vez que o volume de esgotos está relacionado ao consumo de água, é importante conhecer os fatores que afetam esse consumo, conforme aponta Von Sperling (2019):

- a) Disponibilidade hídrica: onde há escassez de água, o consumo geralmente é menor;
- b) Condições socioeconômicas: em comunidades com maior poder aquisitivo, o consumo de água geralmente é maior;
- c) Clima: o consumo de água varia bastante em função do clima, sendo maior em regiões de clima quente;
- d) Medição do consumo: em locais onde há medição de consumo de água (hidrômetros), o consumo tende a ser menor, pois nesses casos, o desperdício de água é evitado, pois implicará no aumento das despesas com a conta de água;
- e) Custo da água: o custo da água pode interferir no consumo, que tende a ser menor quanto mais caro for a água;
- f) Pressão da água: a pressão da água no sistema de distribuição afeta o consumo, pois quanto maior a pressão, maior o consumo;
- g) Porte das cidades: o consumo de água tende a ser maior em cidades grandes.

O consumo de água para a produção industrial é variável de acordo com os processos empregados e os produtos fabricados, entretanto, em localidades industrializadas geralmente o consumo de água é maior. A vazão de esgotos industriais, depende do porte da indústria, dos processos produtivos, dos equipamentos utilizados, da adoção de práticas de reúso de água, entre outros, o que dificulta o estabelecimento de estimativas dos volumes gerados por unidade fabricada, pois devido a esses fatores, a fabricação de um mesmo produto pode resultar em vazões de esgotos distintas, de acordo com as características de cada indústria.

### 4.2.2 Matéria sólida nos esgotos

Os esgotos tipicamente domésticos são compostos por 0,1% de matéria sólida e 99,9% de água. Aparentemente, a parcela de sólidos nos esgotos não é representativa em termos de volume, entretanto, ela é responsável pela produção diária de toneladas de lodo em estações de tratamento de esgotos. Além disso, pode causar efeitos adversos ao ambiente se esses resíduos não forem adequadamente dispostos, pois todos os contaminantes presentes nos

esgotos contribuem para a carga de sólidos, composta por sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além de microrganismos. A Tabela 3 apresenta a classificação dos sólidos nos esgotos.

**Tabela 3.** Classificação dos sólidos nos esgotos

Sólidos nos Esgotos	Classificação		
	Tamanho e estado	Características químicas	Condições de sedimentabilidade
	Sólidos em suspensão (particulados)	Sólidos voláteis ou orgânicos	Sólidos sedimentáveis
Sólidos dissolvidos (solúveis)	Sólidos fixos ou minerais	Sólidos não sedimentáveis	

Para o estabelecimento do teor de sólidos nos esgotos é necessário submeter uma amostra de esgoto a processos de filtragem, evaporação, secagem ou calcificação, sob temperaturas específicas por períodos de tempo pré-determinados. Por meio dessas diferentes condições analíticas, são definidas as diversas frações de sólidos presentes (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis).

Os sólidos sedimentáveis representam a parcela que se sedimenta por ação gravitacional, em 1 hora, medida em um cone Imhoff, que é um recipiente cônico específico para a determinação da sedimentação natural dos sólidos em suspensão.

O conhecimento das frações de sólidos nos esgotos constitui uma importante ferramenta de controle operacional em estações de tratamento de esgotos (PESSOA e JORDÃO, 2017). As concentrações de sólidos em suspensão voláteis, por exemplo, podem ser associadas à concentração de microrganismos decompositores da matéria orgânica nos reatores biológicos. Não se trata de uma avaliação precisa da biota, mas é um bom parâmetro de controle operacional (CETESB, 2020).

### 4.2.3 Temperatura

A temperatura dos esgotos é, em geral, um pouco superior à das águas de abastecimento e varia conforme as estações do ano. A temperatura influencia na velocidade das reações químicas, na atividade microbiana, na solubilidade dos gases e na viscosidade dos líquidos (PIVELI e KATO, 2006).

### 4.2.4 Odor

Os gases formados no processo de decomposição conferem odor característico aos esgotos. O odor de mofo, relativamente desagradável, é característico de esgoto fresco. O odor de ovo podre, fétido, extremamente desagradável, é típico do esgoto velho ou séptico, devido a presença de gás sulfídrico e outros produtos da decomposição.

#### 4.2.5 Cor

A tonalidade cinza indica que o esgoto é fresco e a tonalidade mais escura, cinza escuro ou preto, é indicativa de esgoto velho. A cor está associada com a presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico.

#### 4.2.6 Turbidez

A turbidez é indicativa da presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas de areia, silte, argila, e detritos orgânicos, como algas e bactérias. Geralmente os esgotos mais frescos ou mais concentrados apresentam maior turbidez.

### 4.3 Características Químicas

#### 4.3.1 pH

O pH é uma condição que afeta o processo de tratamento biológico dos esgotos. Normalmente, a condição de pH que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento mais estável é a de neutralidade, tanto em meios aeróbios como nos anaeróbios, e sua alteração pode ser indicativa de desequilíbrio do processo de tratamento.

#### 4.3.2 Matéria orgânica

A matéria orgânica em águas pode ser de origem natural ou antropogênica. Ela está presente em todos os organismos vivos. A maior fonte de matéria orgânica em águas é atribuída às descargas de esgotos sanitários, que são constituídos, em sua maior parte, por esgotos com características domésticas. Nesses esgotos, 75% dos sólidos em suspensão e 40% dos sólidos dissolvidos são de natureza orgânica. Os principais grupos de substâncias orgânicas encontradas nos esgotos são proteínas, carboidratos e óleos e graxas; detergentes, pesticidas, fenóis e outros compostos orgânicos sintéticos estão presentes em menor quantidade (PIVELI e KATO, 2006).

De forma geral, as moléculas orgânicas contêm os elementos carbono e hidrogênio unidos por ligações covalentes. O carbono é o constituinte mais abundante da matéria orgânica, representando aproximadamente 45 a 55% de sua massa. Assim, a matéria orgânica pode ser entendida como uma longa cadeia de carbono, a qual estão ligados predominantemente, elementos como o oxigênio e o nitrogênio, bem como o fósforo, o enxofre, o potássio, e outros elementos menos comuns, que representam menos de 1% da massa total da matéria orgânica (PIVELI e KATO, 2006).

Por meio da fotossíntese, na presença de luz solar e clorofila, o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) do ambiente é assimilado e transformado em compostos orgânicos, formando os carboidratos

que se transformarão em gorduras e proteínas. Os animais, se alimentando de produtos vegetais, transformam a matéria orgânica vegetal em animal, produzindo resíduos. Quando morrem, fecha-se o ciclo da vida e da morte em relação ao carbono. A matéria orgânica carbonácea de excretas ou de animais e vegetais mortos se decompõe produzindo gás carbônico ou carbonatos que são liberados no ambiente.

Os compostos orgânicos naturais são oriundos de organismos vivos e de seus processos biológicos, tais como excreção, secreção e morte, partes de indivíduos ou indivíduos inteiros. As moléculas essenciais para as funções vitais dos seres vivos, como carboidratos, lipídios e proteínas são moléculas orgânicas de origem natural. Os compostos orgânicos produzidos pelo homem e que não são encontrados na natureza, como plásticos e detergentes, têm origem artificial. Os seres vivos representam a matéria orgânica viva, e os inúmeros produtos de excreção e restos mortais de organismos representam a matéria orgânica morta.

A matéria orgânica exerce uma função indispensável na natureza, servindo como fonte de alimento para organismos vivos. As transformações e transferências de suas formas orgânicas através de reações químicas ou biológicas caracterizam os diversos ciclos biogeoquímicos, os quais estão interconectados à biota, ao meio e aos processos físico-químicos envolvidos.

A matéria orgânica carbonácea, baseada no carbono orgânico presente no esgoto afluente a uma estação de tratamento, pode ser classificada em função de sua forma e tamanho, como matéria orgânica em suspensão (particulada) ou dissolvida. Quanto à sua biodegradabilidade pode ser classificada como inerte ou biodegradável.

Sendo a matéria orgânica formada por uma mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos, sua quantificação é estimada de forma indireta através de parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou de forma direta, pela determinação do Carbono Orgânico Total (COT).

### 4.3.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO<sub>5,20</sub>

A DBO é utilizada para medir de forma indireta a quantidade de matéria orgânica presente no esgoto. Ela representa a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar bioquimicamente, pela ação de bactérias aeróbias, a matéria orgânica presente em um volume padronizado de uma amostra.

A DBO é um excelente indicador de poluição dos corpos hídricos, pois quanto maior for a DBO maior é o grau de poluição, ou seja, quanto maior a concentração de DBO, maior será o consumo de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica, que é utilizada como alimento para bactérias e organismos presentes, e havendo alimento eles irão se proliferar, necessitando de mais oxigênio para sua respiração, aumentando a demanda por oxigênio.

É por meio das atividades de nutrição e respiração pelos organismos que ocorre o tratamento biológico dos esgotos, a decomposição da matéria orgânica, a quebra da cadeia de carbono, liberando a energia contida nas ligações químicas das moléculas decompostas, possibilitando que o fósforo, o nitrogênio, o potássio e todos os elementos que compõem essa cadeia retornem para os seus respectivos ciclos naturais, ou seja, no processo de de-

gradação biológica, os compostos orgânicos biodegradáveis são transformados em produtos finais estáveis ou mineralizados, tais como água, gás carbônico, sulfatos, fosfatos, amônia, nitratos etc.

A quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável é representada pela DBO, que vai se reduzindo gradativamente durante o processo aeróbio até se tornar nula, quando a matéria orgânica está totalmente estabilizada.

A medição padronizada de DBO é realizada no quinto dia, mantendo-se a temperatura de incubação da amostra em 20°C durante a realização do teste, sendo expressa como  $DBO_{5,20}$ . Em geral, a  $DBO_{5,20}$  é medida em miligrama por litro ( $mg.L^{-1}$ ) e nos esgotos domésticos brutos ela varia entre 200 e 400  $mg.L^{-1}$ , entretanto, esses valores podem ser bem mais elevados dependendo da região e características dos esgotos. Um esgoto doméstico com  $DBO_{5,20}$  de 300  $mg.L^{-1}$  significa que 1 litro de esgoto consome aproximadamente 300 mg de oxigênio, em 5 dias, no processo de estabilização da matéria orgânica carbonácea, a uma temperatura de 20°C (CETESB, 2020).

A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2020). No campo do tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro importante no controle das eficiências das estações, e a carga de DBO, obtida pelo produto da vazão pela concentração, expressa em  $kg.dia^{-1}$ , é um parâmetro fundamental no projeto das estações de tratamento biológico de esgotos. Dela resultam as principais características do sistema de tratamento, como áreas e volumes de tanques, potências de aeradores etc. No caso de esgotos sanitários, é tradicional no Brasil a adoção de uma contribuição “per capita” de  $DBO_{5,20}$  de 54  $g.hab^{-1}.dia^{-1}$  (CETESB, 2020). Porém, há a necessidade de melhor definição deste parâmetro através de determinações de cargas de  $DBO_{5,20}$  em bacias de esgotamento com população conhecida (PIVELI e KATO, 2020).

### 4.3.2.2 Demanda Química de Oxigênio - DQO

De maneira análoga à  $DBO_{5,20}$ , a DQO também é utilizada como medida indireta da matéria orgânica, sendo determinada em função da quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra, por meio da adição de um agente químico oxidante, como o dicromato de potássio. Uma das vantagens da determinação da DQO é o tempo necessário para a realização do teste, de 2 a 3 horas, que é bem menor do que a  $DBO_{5,20}$ , que necessita de 5 dias. O teste de DQO não permite avaliar o processo de estabilização da matéria orgânica ao longo do tempo (consumo de oxigênio), e ele irá medir além da fração biodegradável, a fração inerte da amostra, pois o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que a ação de microrganismos, que atuam apenas sobre a fração biodegradável. Dessa forma, geralmente os valores de DQO são superiores aos da  $DBO_{5,20}$ , e quanto mais a  $DBO_{5,20}$  se aproximar da DQO significa que mais biodegradável será o efluente (CETESB, 2020).

A relação DQO/DBO permite avaliar o grau de biodegradabilidade de um despejo, e quando os valores observados forem baixos, menores do que 2,5, considera-se que o efluente

te pode ser tratado por processos biológicos, pois a fração biodegradável é elevada. De maneira inversa, quando essa relação for elevada, maior do que 3,5, denota a indicação para o tratamento físico-químico, pois nesses casos, a fração inerte, não biodegradável, é elevada (CETESB, 2020).

### 4.3.2.3 Carbono Orgânico Total – COT

A análise do carbono orgânico total é uma forma de medição direta da matéria orgânica pela determinação do carbono liberado na forma de  $\text{CO}_2$ . Para a realização dessas análises, as formas inorgânicas de carbono devem ser previamente removidas, ou corrigidas por meio de cálculos específicos.

### 4.3.3 Oxigênio Dissolvido - OD

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela física, sendo a concentração de saturação de um gás na água, estabelecida em função da temperatura (Lei de Henry).

O ar atmosférico é uma mistura gasosa que contém aproximadamente 21% de oxigênio. Para 20°C, a concentração de saturação de oxigênio em uma água superficial é igual a 9,2  $\text{mg.L}^{-1}$ , sendo essa concentração inversamente proporcional à temperatura.

A taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas e é proporcional à velocidade, sendo que a taxa de reaeração superficial em uma cascata (queda d'água) é maior do que a de um rio de velocidade normal, que por sua vez apresenta taxa superior à de uma represa, com velocidade normalmente bastante baixa (CETESB, 2020).

Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e em estações de tratamento de esgotos. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática.

### 4.3.4 Nitrogênio

O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático em diferentes formas: nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ), nitrogênio orgânico (várias formas), nitrogênio amoniacal livre ( $\text{NH}_3$ ), íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), íon nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

No esgoto bruto, as formas predominantes são o nitrogênio orgânico e a amônia, cujas frações totais são determinadas conjuntamente em laboratório, recebendo a denominação de Nitrogênio Kjeldahl Total, em função do método analítico empregado, que é o método Kjeldahl.

Várias fontes contribuem para a presença do nitrogênio na água, sendo que os esgotos sanitários representam uma contribuição significativa pelo lançamento de nitrogênio orgânico (proteínas) e amoniacal (ureia).

A atmosfera também é uma fonte importante, considerando que as bactérias e as algas presentes nas águas incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico na água. Outras fontes relevantes, são as chuvas, que arrastam várias substâncias para os corpos hídricos, como amônia, nitrato, e nitrogênio orgânico. Nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais arrasta a poluição difusa, e nas áreas agrícolas, os fertilizantes contendo nitrogênio e outros nutrientes, atingem os corpos hídricos pelo escoamento das águas da chuva e percolação em solos que foram submetidos à aplicação de fertilizantes (CETESB, 2020).

A forma predominante em que o nitrogênio se encontra nas águas pode ser associada ao estágio de poluição do corpo hídrico. Por exemplo, se o nitrogênio está na forma de nitrogênio orgânico ou amônia, é uma indicação de poluição recente (PIVELI e KATO, 2006).

No processo de autodepuração das águas, conforme será visto neste capítulo, o nitrogênio orgânico está presente na zona de degradação e o nitrogênio amoniacal, na zona de degradação ativa. Se a poluição é antiga, o nitrogênio está na forma de nitrato, e num estágio intermediário de poluição, pode-se encontrar nitrito em menores concentrações. Assim, no processo de autodepuração, o nitrito está presente na zona de recuperação e o nitrato na zona de águas limpas (BRAGA *et al.*, 2005).

Pode-se concluir que se o nitrogênio presente num corpo hídrico está sua forma reduzida, como nitrogênio orgânico e amoniacal, o foco da poluição está próximo. Se o nitrogênio estiver na forma oxidada, como nitrito e nitrato, o foco de poluição está distante.

O nitrogênio amoniacal é um parâmetro de controle de qualidade das águas, pois a amônia pode ser tóxica aos peixes em baixas concentrações. A amônia pode sofrer transformações em um curso d'água. Por meio de um processo chamado de nitrificação, a amônia é oxidada em nitrito e o nitrito em nitrato, consumindo o oxigênio dissolvido nesse processo. No processo de desnitrificação, os nitratos são reduzidos a nitrogênio gasoso.

Os nitratos são tóxicos e podem causar a doença metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças. Nessa doença, o nitrato é reduzido a nitrito na corrente sanguínea, competindo com oxigênio livre, tornando o sangue azul (PIVELI e KATO, 2006).

Para a remoção de nitrogênio em estações de tratamento de esgotos, o processo é semelhante, e em processos aeróbios, como as estações por lodos ativados, a nitrificação pode acontecer, em condições normais de operação, ou seja, a amônia é convertida a nitrito e o nitrito a nitrato, sem que haja necessidade de alterações no processo. Para a remoção de nitrogênio, é necessário converter o nitrato em nitrogênio gasoso, porém, esse processo, de desnitrificação, necessita de condições ambientais onde haja nitrato e ausência de oxigênio, as chamadas condições anóxicas, e para tanto, são necessárias modificações no processo de modo a possibilitar a criação de zonas anóxicas no interior dos reatores biológicos (PIVELI e KATO, 2006).

### 4.3.5 Fósforo

O fósforo presente nos esgotos já teve como sua principal origem os detergentes superfosfatados de ampla utilização doméstica. Entretanto, em abril de 2005 foi publicada a

Resolução CONAMA nº 359/2005, que estabeleceu critérios para a utilização de fósforo na formulação de detergentes em pó para o uso no mercado nacional, visando a redução e eventual eliminação do aporte de fósforo dessa fonte nos corpos de água. Em linhas gerais, foi estipulada a redução progressiva dos limites, ao longo de três anos subsequentes, nos quais os fabricantes de sabão e detergente em pó deveriam reduzir a concentração de fósforo na fórmula dos produtos em pó, destinados à limpeza de tecidos (CONAMA, 2005b).

Estudos recentes apontam que os fabricantes substituíram os fosfatos presentes nas formulações de detergentes em pó, estimulados pela legislação, por motivações de caráter ambiental, mas principalmente pela competitividade econômica, de tal modo que a porcentagem de fósforo, em peso, observada atualmente nos detergentes é quase 500 vezes menor do que aquela que a legislação permite (QUEVEDO e PAGANINI, 2018).

Desse modo, o fósforo associado à matéria fecal e urina é hoje a principal fonte desse elemento nos esgotos sanitários, que também recebe outras contribuições, advindas de efluentes industriais, como as indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, que apresentam fósforo em quantidades excessivas, salientando-se que a presença de fósforo nas águas naturais, também é devida às atividades agrícolas, pelo uso de fertilizantes, bem como aos processos de erosão do solo, além de contribuições de fontes difusas (PIVELI e KATO, 2006).

Conforme apresentado no item 2.9, o fósforo, por ser nutriente para processos biológicos, quando em excesso, pode levar a eutrofização, ou seja, provoca o enriquecimento da água com nutrientes que favorecem a proliferação de algas, podendo inviabilizar os usos previstos para a água, sendo um dos principais responsáveis pela poluição dos corpos hídricos. Por essa razão, o fósforo é um importante parâmetro de classificação das águas naturais, participando também na composição de índices de qualidade de águas.

### 4.4 Características biológicas

Os constituintes biológicos dos esgotos têm papel fundamental na decomposição e estabilização da matéria orgânica e na transformação de compostos inorgânicos. Os microrganismos presentes nos esgotos incluem bactérias, fungos, protozoários, helmintos, vírus e outros. A principal fonte desses organismos é o esgoto humano, considerando que as fezes humanas contêm  $10^{12}$  bactérias por grama, além de vírus, vírus, protozoários, helmintos e outros. Alguns microrganismos só estão presentes em eventos de doenças específicas, e nesses casos, a concentração de microrganismos dependerá do número de pessoas infectadas e da duração do período da doença, ocasião em que haverá eliminação desses organismos pelas fezes.

#### 4.4.1 Coliformes termotolerantes

Os organismos coliformes apresentam-se em grande quantidade nas fezes humanas e são utilizados como organismos indicadores de poluição fecal. São predominantemente não

patogênicos, mas podem indicar contaminação fecal e paralelamente, a potencial presença de organismos patogênicos.

Os coliformes termotolerantes são representados, principalmente, pela *Escherichia coli*, que é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal (CETESB, 2020). Os processos de remoção de coliformes e de bactérias patogênicas em corpos d'água, estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgotos são semelhantes. Assim, a legislação brasileira, adota os coliformes fecais como padrão de qualidade microbiológica de águas superficiais destinadas a abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura, que também são utilizados para avaliação da bem como a eficiência dos processos de desinfecção (CETESB, 2020).

### 4.4.2 *Escherichia coli* (*E. coli*)

Principal bactéria do subgrupo dos coliformes termotolerantes, sendo de origem exclusivamente fecal, está presente em número elevado nas fezes humanas e de animais de sangue quente e é raramente detectada na ausência de poluição fecal. É considerada o indicador mais adequado de contaminação fecal em águas doces (CETESB, 2020).

### 4.4.3 Enterococos

Os enterococos são um subgrupo dos Estreptococos sendo um indicador bacteriano para determinação da extensão da contaminação fecal de águas superficiais recreacionais. Estudos em águas de praias marinhas e de água doce indicaram que as gastroenterites associadas ao banho estão diretamente relacionadas à qualidade das águas recreacionais e que os enterococos são os mais eficientes indicadores bacterianos de qualidade de água (CETESB, 2020).

### 4.4.4 Protozoários (cistos) - *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp.

*Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. são protozoários parasitas e se destacam dentre os contaminantes associados à veiculação hídrica. Esses protozoários podem persistir por longo tempo no ambiente e são resistentes a processos convencionais de tratamento, sendo, portanto, importante o seu monitoramento (CETESB, 2020). A maior parte dos casos de diarreia não-bacteriana na América do Norte é causada pela *Giardia*, e o *Cryptosporidium* causa gastroenterite de remissão espontânea em adultos saudáveis, sendo extremamente grave em grupos mais vulneráveis, tais como crianças, idosos e pessoas com sistema imunológico enfraquecido (CETESB, 2020). O Anexo XX da Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) estabelece no seu artigo critérios quanto ao monitoramento das concentrações de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. em mananciais de abastecimento.

#### 4.4.5 Helmintos (ovos)

Os ovos de helmintos são um parâmetro microbiológico importante para a avaliação da qualidade dos esgotos, especialmente quanto ao risco patogênico associado aos organismos mais resistentes, sendo geralmente utilizados como padrão de qualidade em situações de reúso e utilização agrícola de lodos provenientes de estações de tratamento de esgotos (BASTOS, 2003). Os ovos de helmintos podem ser removidos por processos físicos de sedimentação e filtração. Os ovos podem estar viáveis e não viáveis, e sua viabilidade pode ser impactada por processos de desinfecção, entretanto, os ovos de parasitas e também os cistos de protozoários são bastante resistentes aos processos de desinfecção por agentes químicos, como o cloro e o ozônio. Esses processos podem alcançar uma eficiência de cerca de 90% de remoção, porém esse resultado é insuficiente para se alcançar os padrões estabelecidos, por exemplo, para o reúso (BASTOS, 2003).

### 4.5 Características dos Esgotos

A Tabela 4 apresenta uma classificação para os esgotos de origem doméstica, como fraco, médio ou forte, considerando alguns parâmetros de avaliação, conforme segue:

**Tabela 4.** Características físico-químicas dos esgotos

Substâncias	Unidade	Condição do esgoto		
		Forte	Médio	Fraco
Carbono Orgânico Total	mg/L	290	160	80
Cloreto	mg/L Cl	100	50	30
DBO <sub>5,20</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	400	220	110
DQO	mg/L	1.000	500	250
Fósforo Total	mg/L P	15	8	4
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	50	25	12
Nitrogênio orgânico	mg/L N	35	15	8
Nitrogênio Total - NTK	mg/L N	85	40	20
Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub>	50	30	20

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (1991), citados por Piveli, 2013

### 4.6 Sistemas individuais e coletivos

#### 4.6.1 Sistema individual

O sistema individual consiste em uma solução local para o esgoto, para uma residência isolada, unifamiliar, ou para poucas residências que estejam situadas próximas umas das outras. Geralmente nesses casos a solução adotada para os esgotos são as fossas.

#### 4.6.2 Sistema Coletivo

À medida que as comunidades e a concentração humana tornam-se maiores, as soluções individuais para o esgoto gerado passam a ser inadequadas, devendo ser empregadas soluções de caráter coletivo por meio de Sistema de Esgotos Sanitários.

O Sistema de Esgotos Sanitários (SES) é o conjunto de obras e equipamentos destinados a coletar os esgotos gerados, afastá-los e transportá-los até uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) para que seja tratado e disposto de forma adequada do ponto de vista sanitário e ambiental. É composto por ligação de esgoto, rede coletora, coletores-tronco, interceptores, emissários e estação de tratamento.

De acordo com a norma brasileira NBR 9.648:1986 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1986), o sistema de esgoto sanitário “*é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro.*”

#### 4.7 Partes constituintes de um Sistema de Esgotos Sanitários

São descritos a seguir, os componentes de um sistema de esgotos sanitários. A Figura 34 apresenta o esquema de um SES.

**Ligação de esgoto:** A ligação de esgoto é composta por um conjunto de dispositivos que liga a instalação predial à rede coletora.

**Rede coletora:** é a canalização destinada a receber e conduzir os esgotos das edificações e de outras redes coletoras de esgotos para transportá-los até os coletores-tronco.

**Coletor-tronco:** são canalizações de maior diâmetro, sendo os principais coletores de uma bacia de drenagem. Esses coletores conduzem os esgotos até os interceptores ou emissários.

**Interceptor:** Canalização que recebe coletores ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas, destinada a conduzir os esgotos até a estação de tratamento.

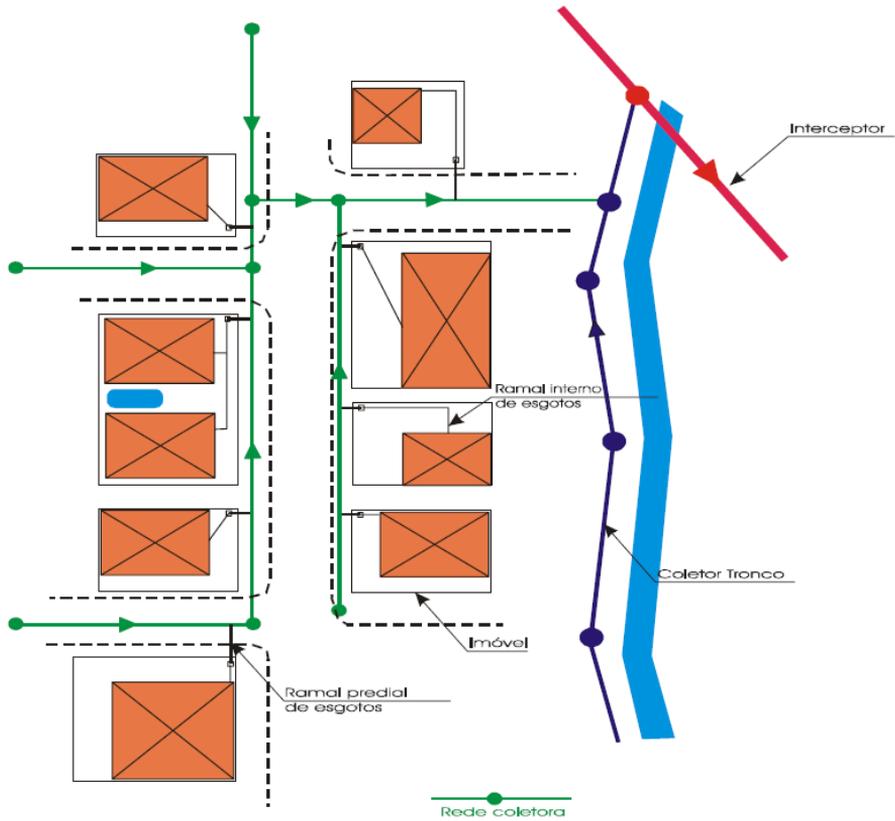
**Emissário:** Canalização destinada a conduzir os esgotos a um destino conveniente (ETE e/ou lançamento) sem receber contribuições de marcha.

**Estação de tratamento:** Conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes do lançamento no corpo de água receptor.

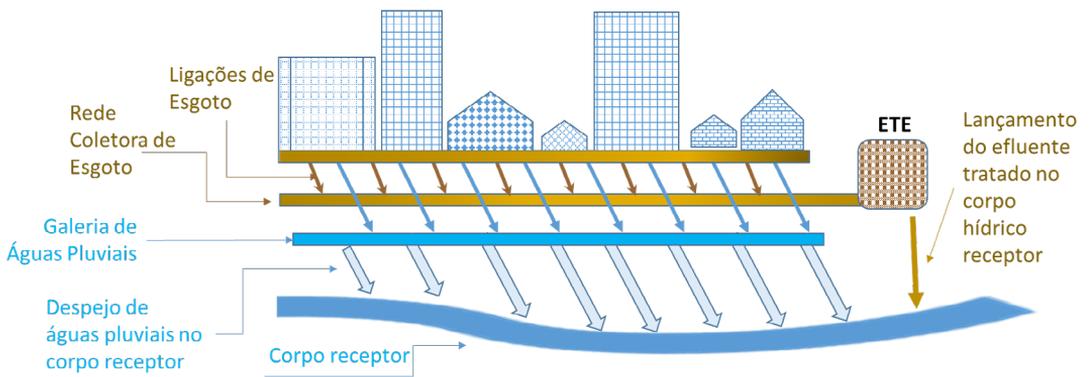
**Corpo de água receptor:** corpo de água onde serão lançados os esgotos.

#### 4.8 Tipos de sistemas de coleta de esgotos sanitários

Os sistemas de esgotos sanitários podem ser de dois tipos. O sistema unitário, que recebe em um único coletor os esgotos sanitários e as águas de chuva, e o sistema separador absoluto, que é utilizado no Brasil, no qual os esgotos sanitários são coletados de forma separada das águas pluviais, conforme mostra a Figura 35.



**Figura 34.** Desenho esquemático do sistema de esgotos: ramal, rede e coletor de esgoto.  
Fonte: SABESP, 2006.



**Figura 35.** Esquema do sistema de esgotos sanitários do tipo separador absoluto.  
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de FUNASA, 2015.

Os sistemas unitários têm custos de implantação elevados, pois as tubulações precisam ser de grandes dimensões para receber a água de chuva, que ficam ociosas no período seco. Von Sperling (2014) ressalta, ainda, outros inconvenientes, como os riscos de refluxo para o interior das residências nos períodos chuvosos, a probabilidade de mau cheiro nas bocas de lobo e em outros pontos do sistema, e as extravasões nas estações de tratamento, que não podem ser dimensionadas para tratar toda a vazão gerada no período de chuvas.

No sistema separador absoluto, as águas pluviais são coletadas por meio do sistema de drenagem e lançadas nos corpos d'água. Os esgotos, por sua vez, são coletados separadamente e devem passar por uma estação de tratamento antes do descarte nos corpos hídricos receptores. Os custos de implantação e o diâmetro das tubulações no sistema separador absoluto são menores, e os problemas apontados para o sistema unitário são evitados. Entretanto, a má utilização desse sistema pode trazer uma série de inconvenientes, especialmente pelas ligações irregulares de águas pluviais na rede de esgotos, o que implicará nos mesmos problemas mencionados para o sistema unitário, e outro problema, consiste no descarte de resíduos sólidos no sistema de coleta e afastamento de esgotos, que pode comprometer tanto o sistema de coleta e afastamento quanto o tratamento dos esgotos nas ETEs.

### 4.9 Finalidades do tratamento de esgoto

Os sistemas de tratamento de esgotos têm por objetivo remover os contaminantes presentes, buscando garantir que o lançamento do esgoto tratado nos corpos hídricos receptores esteja em conformidade com a legislação vigente de tal modo que não afete as características da água inviabilizando os usos previstos para ela.

A finalidade de uma estação de tratamento de esgotos é separar a fase líquida e a fase sólida dos esgotos. A fase líquida corresponde ao fluxo principal do líquido na planta de tratamento, que vai resultar no efluente final tratado da estação, e a fase sólida, corresponde ao lodo gerado durante o processo de tratamento.

#### 4.9.1 Fatores que interferem no tratamento

Uma estação de tratamento de esgotos deve estar totalmente integrada ao local escolhido para a sua implantação. Assim, para definir o processo a ser empregado e o nível do tratamento necessário, deve-se conhecer as exigências da legislação, especialmente em relação às eficiências de remoção requeridas para o efluente tratado, bem como os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo hídrico receptor. Além disso, a capacidade de diluição do corpo d'água, as condições de autodepuração e os usos da água a montante e a jusante da estação de tratamento são variáveis importantes a serem consideradas na concepção de uma ETE.

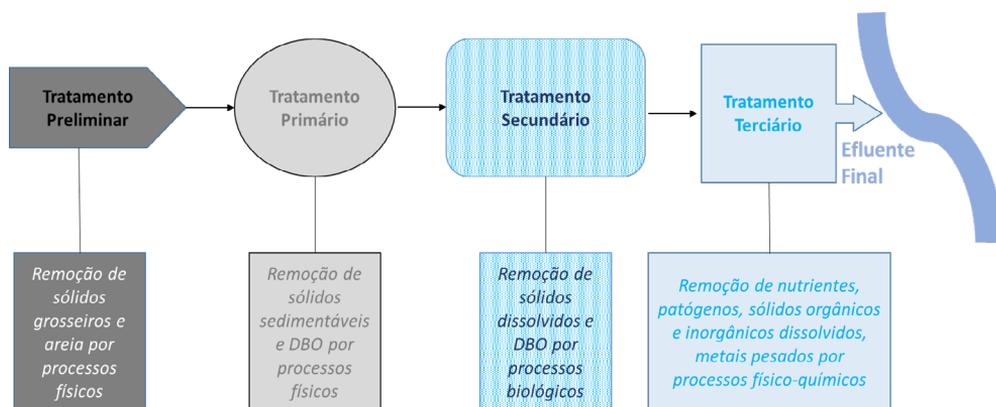
Essas exigências evidenciam que uma estação de tratamento de esgotos não pode ser considerada como um empreendimento isolado. Ela interage e pode provocar impactos ao meio ambiente, especialmente ao corpo hídrico receptor dos efluentes, no entorno do ponto

de lançamento, em uma área chamada de zona de mistura. Assim, não basta operar uma ETE com foco apenas na qualidade do efluente tratado; é preciso avaliar os efeitos decorrentes da disposição final dos efluentes nos corpos d'água.

Há outro aspecto fundamental a ser observado na concepção e operação de uma estação, referente ao lodo produzido, que também deve ser disposto de forma ambientalmente adequada, sendo essa questão objeto de inúmeros estudos e pesquisas que buscam alternativas para o aproveitamento benéfico do lodo, com a utilização agrícola, por exemplo. O efluente e os gases gerados no processo de tratamento também podem ser aproveitados para fins benéficos, como o reúso e a geração de energia, respectivamente, além de outras inúmeras possibilidades. A geração de odor e ruído no processo, bem como os cuidados com o armazenamento dos produtos químicos utilizados na operação, são também objeto de atenção, especialmente pelas implicações ambientais envolvidas.

#### 4.9.2 Níveis de tratamento

O tratamento de esgotos é usualmente classificado em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário, conforme mostra a Figura 36.



**Figura 36.** Níveis de tratamento de esgotos: Poluentes removidos e mecanismos de tratamento.

Fonte: Elaborado pelos autores

##### 4.9.2.1 Tratamento Preliminar

No tratamento preliminar são removidos os sólidos grosseiros e a areia presentes no esgoto. Esses materiais podem danificar os equipamentos que compõem a estação, e devem ser removidos no início do processo visando proteger as unidades de tratamento, especialmente quanto a obstruções, abrasão de tubulações e bombas, entre outros. Para a remoção

dos sólidos grosseiros são utilizadas grades de diferentes espaçamentos, que podem ser de limpeza manual ou mecanizada. Também têm sido utilizadas peneiras rotativas, que removem sólidos com menores dimensões. A areia é removida em desarenadores ou caixas de areia, por processo de simples sedimentação (PESSOA e JORDÃO, 2017).

#### 4.9.2.2 Tratamento Primário

No tratamento primário é removida uma parcela da matéria orgânica e dos sólidos em suspensão, geralmente por sedimentação, em unidades de decantação primária. O efluente do tratamento primário ainda contém uma grande concentração de matéria orgânica, necessitando de tratamento complementar. A maior aplicação do tratamento primário é como precursor do tratamento secundário. A eficiência de remoção nessas unidades pode atingir em torno de 25 a 35% em relação à DBO e de 60 a 75% quanto aos sólidos em suspensão. A massa de sólidos retirada nos decantadores primários é chamada de lodo primário bruto (PESSOA e JORDÃO, 2017).

#### 4.9.2.3 Tratamento Secundário

O tratamento de esgotos convencional ou em nível secundário é destinado principalmente à remoção da matéria orgânica. O tratamento secundário geralmente é realizado por processos biológicos, nos quais ocorrem reações bioquímicas pelos microrganismos presentes. Os processos mais utilizados no tratamento secundário são sistemas de lagoas de estabilização, filtros biológicos, reatores anaeróbios e lodos ativados e podem atingir níveis de eficiência de remoção de DBO de até 98% (PESSOA e JORDÃO, 2017).

#### 4.9.2.4 Tratamento avançado ou terciário

O tratamento avançado ou terciário pode ser definido com um nível de tratamento além daquele requerido no secundário, sendo usado para remover constituintes dos esgotos, como nutrientes e compostos tóxicos, além de matéria orgânica e sólidos em suspensão, remanescentes do tratamento secundário. Para tanto podem ser utilizados processos de coagulação química, floculação ou sedimentação seguida de filtração, troca iônica, membranas, osmose reversa, etc. Alguns processos naturais, como a disposição de esgotos no solo, são uma alternativa tecnológica viável de polimento dos esgotos, que chegam a atingir a eficiência pretendida pelos tratamentos convencionais terciários, pela utilização dos nutrientes contidos nos esgotos no sistema solo-planta (PESSOA e JORDÃO, 2017).

## 4.10 A autodepuração dos corpos d'água

Branco e Rocha (1977) descrevem a autodepuração como um fenômeno natural que ocorre nos corpos hídricos poluídos sob condições específicas. Vários fatores físicos, químicos e biológicos participam desse processo, podendo-se inicialmente destacar a ação da gravidade, que provoca a sedimentação da matéria orgânica, representada pela DBO, quando a velocidade de escoamento da água é baixa, em torno de 20 cm/s, sendo que algumas bactérias também são removidas pela ação da gravidade.

A turbulência também pode contribuir para a autodepuração, uma vez que possibilita a reoxigenação da água. Por outro lado, ela pode causar o efeito inverso e consumir oxigênio do meio, quando causa a resuspensão de substâncias que estavam sedimentadas (lodo), que passam do fundo para a coluna d'água, causando o aumento da DBO, e conseqüentemente, consumindo o oxigênio do meio.

A diluição dos poluentes também afeta o processo de autodepuração, pois aumenta a dispersão das partículas em suspensão e diminui a concentração<sup>10</sup> dos despejos.

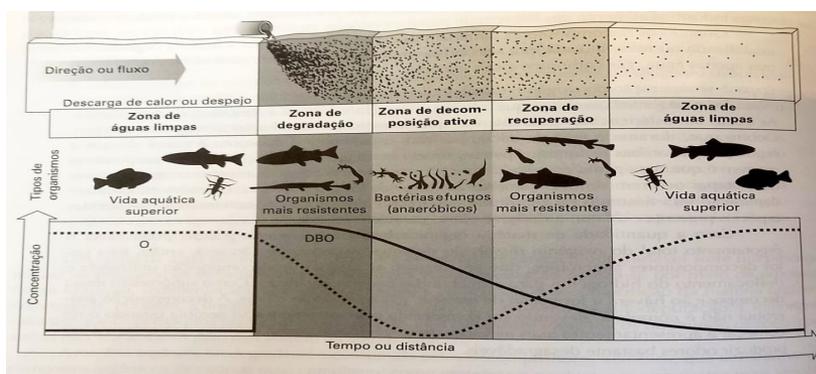
A incidência da radiação sobre os corpos d'água tem efeito germicida, quando ficam submetidos à exposição aos raios solares durante um certo período. A radiação ultravioleta pode provocar a eliminação de organismos unicelulares da água.

A temperatura tem influência sobre o metabolismo dos organismos aquáticos. Além disso, o aumento da temperatura pode diminuir a viscosidade do meio, fazendo com que alguns organismos do plâncton, que vivem em suspensão na água, não consigam se sustentar, indo para o fundo.

Outros processos, como a respiração e a síntese orgânica, que corresponde à produção de compostos orgânicos através das reações de fotossíntese, afetam o processo de autodepuração dos corpos d'água, assim como as atividades de seleção natural, por predatismo e parasitismo, que possibilitam o equilíbrio entre as populações nas comunidades aquáticas.

#### 4.10.1 As Zonas de autodepuração

Quando um corpo d'água poluído pelo lançamento de matéria orgânica biodegradável está em processo natural de recuperação é possível caracterizar algumas regiões que são evidenciadas pelas concentrações de gases e nutrientes e pela presença de diferentes tipos de organismos, em cada uma delas. Essas regiões são as zonas de autodepuração, e foram estudadas e caracterizadas por muitos pesquisadores, conforme ilustra a Figura 37.



**Figura 37.** Processo de autodepuração.

Fonte: Braga *et al.*, 2005.

<sup>10</sup> Concentração é a relação entre a massa da substância e o volume da solução

De acordo com a Figura 37, a região anterior ao lançamento de matéria orgânica, em geral, corresponde a uma zona de águas limpas, sendo caracterizada por apresentar elevada concentração de oxigênio dissolvido e vida aquática superior.

A jusante do lançamento de matéria orgânica tem início a zona de degradação, na qual estão presentes apenas os organismos mais resistentes, pois nessa região há uma diminuição inicial do oxigênio dissolvido, imediatamente após o lançamento, que vai sendo consumido a medida em que se distancia do ponto de lançamento. Isso ocorre em função da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é máxima no ponto de lançamento da matéria orgânica, e vai diminuindo ao longo do tempo pelo consumo do oxigênio. Nesta zona, os compostos nitrogenados estão presentes, há elevados teores de proteína e complexos químicos (BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 2014).

Na zona de decomposição ativa, a concentração de oxigênio dissolvido é mínima, podendo chegar a zero. O meio se torna anaeróbico sendo caracterizado pela presença de bactérias estritamente anaeróbicas ou facultativas e fungos. É comum a formação de gás sulfídrico e outros gases, bem como a formação de depósitos do lodo. Nesta região os compostos amoniacais são predominantes (BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 2014).

As zonas de recuperação são caracterizadas pela predominância dos mecanismos de re-aeração sobre os de desoxigenação e já se pode observar um aumento na concentração de oxigênio dissolvido. A transparência da água aumenta e conseqüentemente, também aumentam os organismos fotossintetizantes. O número de bactérias e protozoários declina e aparecem rotíferos, crustáceos, moluscos e vermes. O nitrogênio está sob a forma de nitritos e nitratos, e os compostos de fósforo e enxofre são oxidados a fosfatos e sulfatos, caracterizando intenso processo de mineralização da matéria orgânica, podendo ocorrer o fenômeno de eutrofização do meio (BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 2014).

Na zona de águas limpas, a concentração de oxigênio dissolvido e de DBO são semelhantes àquelas observadas no período anterior à poluição. Há um equilíbrio dinâmico no meio e se observa a presença de organismos aeróbios, entretanto a água não está livre de organismos patogênicos (BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 2014).

A autodepuração dos corpos d'água, possibilita a recuperação natural de um corpo d'água degradado. Dependendo das características do corpo d'água, esse processo pode se estender por quilômetros ao longo do caudal dos rios e levar maior ou menor tempo para se desenvolver. O que ocorre em rios que permanecem poluídos por anos seguidos, e por trechos muito longos, é que os mesmos recebem sistematicamente lançamentos de cargas poluidoras, de forma contínua e sucessiva, em diversos pontos ao longo de seu curso e desse modo há um desequilíbrio balanço de oxigênio, pois as perdas são predominantes em relação aos ganhos de oxigênio pela água, o que não permite a sua recuperação natural (BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 2014).

### 4.11 Tratamento biológico: uma cópia otimizada da natureza

De maneira análoga aos fenômenos que participam dos processos de autodepuração dos corpos d'água, são realizados os tratamentos biológicos dos esgotos. Assim, as estações de

tratamento de esgotos são projetos de engenharia destinados a criar arranjos distintos entre equipamentos, tecnologias e processos, de modo a possibilitar uma réplica do que se observa na natureza. Nesse sentido, o homem utilizou muito bem a sua inteligência, pois conseguiu resultados altamente eficientes e eficazes, por exemplo, ao criar os sistemas de tratamento pelo processo biológico de lodos ativados, que atinge elevados níveis de eficiência, utilizando menor tempo e espaço em relação ao que se observa nos processos naturais de autodepuração. Para alcançar esse resultado, estabeleceu o controle de variáveis fundamentais ao processo, tais como a quantidade de oxigênio e “alimento” fornecido aos organismos que participam do tratamento e realizam a biodegradação da matéria orgânica presente nos esgotos.

### 4.11.1 Fossa séptica

Vários autores relatam que a fossa séptica surgiu a partir de uma descoberta feita ao acaso, na França, no ano de 1872, por seu inventor, Jean Louis Mouras, que construiu um tanque para coletar os esgotos e reter os sólidos presentes, antes de infiltrar o líquido no solo. Os relatos mencionam que passados 12 anos, esse tanque foi aberto e constatou-se que a quantidade de sólidos em seu interior era bastante reduzida em relação ao esperado. A partir dessa constatação, foram desenvolvidos experimentos que levaram a concepção da fossa séptica, em vários modelos, que foram evoluindo ao longo do tempo, sendo uma alternativa empregada até os dias atuais (BATALHA, 1989).

Locais não atendidos por rede coletora de esgotos, como as áreas rurais, as comunidades isoladas ou mesmo áreas urbanas e suburbanas, sem acesso ao sistema público, necessitam dar um destino adequado para os esgotos gerados pelas atividades domésticas. Esses esgotos são basicamente constituídos pelos dejetos humanos e pela água utilizada nas atividades diárias de lavar a louça, as roupas, tomar banho, entre outros.

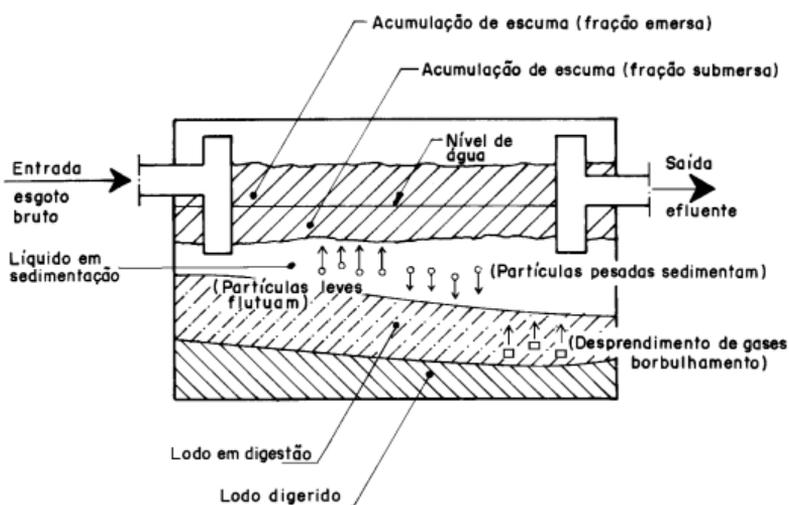
Nesses locais, o emprego de fossas sépticas pode ser uma alternativa de baixo custo, adequada do ponto de vista da saúde e proteção ambiental, desde que respeitados os critérios construtivos e observadas as condições de localização, que são determinantes para a segurança do processo. Além disso, o sistema deve atender exigências mínimas relacionadas à operação e manutenção, especialmente quanto a remoção periódica do lodo digerido, pois caso o lodo não seja retirado, o sistema perde eficiência.

Um aspecto importante referente à implantação de fossas diz respeito aos cuidados para evitar a contaminação do solo e da água subterrânea, pois, em muitos casos, regiões não atendidas por rede de esgotos também não têm acesso ao sistema público de abastecimento de água, e adotam os poços de captação subterrânea como fonte alternativa de abastecimento. A contaminação de poços por resíduos de fossas é mais comum do se imagina, e acarreta enormes danos à saúde da população. Por essa razão, a escolha dos locais para implantação de fossas deve considerar uma distância mínima entre as fossas e os poços de abastecimento de água, sendo que, de maneira simplista, pode-se afirmar que as fossas devem ser construídas abaixo dos poços de abastecimento (a jusante), sendo essa uma premissa fundamental das boas práticas do saneamento básico (FUNASA, 2015).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou em setembro de 1993, a Norma Brasileira NBR nº 7.229:1993, atualmente em fase de revisão, que se refere ao “Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos” Por meio dela são estabelecidas as condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, incluindo o tratamento e a disposição dos efluentes e do lodo sedimentado. Sua elaboração leva em consideração objetivos amplos voltados à preservação da saúde pública e ambiental, a higiene, o conforto e a segurança dos habitantes de áreas servidas por estes sistemas.

De acordo com a norma, o uso do sistema de tanque séptico somente é indicado para: a) área desprovida de rede pública coletora de esgoto; b) alternativa de tratamento de esgoto em áreas providas de rede coletora local; c) retenção prévia dos sólidos sedimentáveis, quando da utilização de rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzidos para transporte de efluente livre de sólidos sedimentáveis (ABNT, 1993).

Uma fossa séptica é uma unidade de sedimentação e digestão, de escoamento horizontal e contínuo. Os tanques devem ser estanques, e no caso de serem construídos em alvenaria devem ser revestidos com material prova de água equivalente a uma camada de argamassa de cimento e areia no traço 1:3 e espessura de 1,5 cm (ABNT, 1993). A velocidade de passagem e a permanência do líquido na fossa devem permitir a separação entre a fração sólida e a líquida, proporcionando a digestão limitada da matéria orgânica, e o acúmulo de sólidos e lodos. Os lodos que ficam retidos na fossa sofrem digestão anaeróbia e são transformados em substâncias sólidas parcialmente mineralizadas. Esse processo ocorre pela atuação das bactérias anaeróbias ou facultativas, que atuam na ausência de oxigênio molecular e reduzem as substâncias orgânicas em formas pouco oxidadas, com a dissolução de sólidos ou a sua passagem ao estado líquido. Nesse processo ocorre a formação e o desprendimento de gases, principalmente o metano e o gás carbônico, como também do gás sulfídrico, em menor quantidade (BATALHA, 1989). A Figura 38 apresenta o esquema de funcionamento de um tanque séptico.



**Figura 38.** Funcionamento geral de um tanque séptico.

Fonte: ABNT, 1993.

A acumulação de espuma no tanque, conforme mostra a Figura 38, é uma característica desse processo. Esse material é formado por gorduras e material graxo, sólidos em mistura com gases, que ocupam a superfície do líquido da fossa séptica. Para evitar a descarga da espuma juntamente com o efluente da fossa, que são os líquidos clarificados, a geometria desses tanques sépticos prevê a instalação de anteparos para reter a espuma. É conveniente evitar o recebimento desse tipo de material pelas fossas, sendo recomendada a instalação de caixas de gordura para a sua retenção prévia (BATALHA, 1989).

O efluente da fossa séptica é altamente contaminado e necessita ser disposto adequadamente no solo de modo a permitir a mineralização dos esgotos pela percolação através do solo, não oferecendo risco à saúde humana e ao ambiente.

Vários autores mencionam que esses cuidados não se restringem apenas à remoção de agentes patogênicos, havendo uma série de cuidados a serem observados: a presença de algumas substâncias químicas nos despejos domésticos, que podem apresentar efeitos tóxicos; os compostos de nitrogênio e fósforo, que podem levar a eutrofização se alcançarem os corpos d'água; o risco de metemoglobinemia em crianças que utilizam águas contaminadas por nitrogênio na forma de nitrito ou nitrato; a disposição de fósforo no solo, que também pode ser um problema em solos arenosos, pois movem-se para baixo numa velocidade muito rápida, podendo alcançar os lençóis freáticos, o que não ocorre em solos argilosos ou ricos em calcário; e também, os metais pesados, que podem ser absorvidos pelo solo e removidos da água residuária percolada.

A disposição do efluente das fossas sépticas deve considerar vários fatores, como a permeabilidade e o tipo de solo, a disponibilidade de espaço, a inclinação do terreno e a altura do lençol freático, entre outros. Para dispor os efluentes é comum a utilização de sumidouros ou poços absorventes, que recebem o efluente diretamente das fossas. Esses poços consistem em escavações revestidas com pedras, tijolos ou outros materiais, sem a utilização de rejunte, para permitir a infiltração do líquido no terreno.

As valas de infiltração consistem em um conjunto de canalizações com comprimento variável de acordo com o número de pessoas atendidas pela fossa. As valas são assentadas sobre uma base de cascalho, pedregulho ou pedra britada, a uma profundidade calculada em função das características do solo, determinada por meio de testes de percolação, sendo que o fundo das valas de infiltração deve estar a uma distância segura do lençol freático. O efluente da fossa séptica deve ser uniformemente distribuído pelas valas de infiltração. As valas podem ser revestidas com tubos porosos ou perfurados, com juntas livres, tijolos assentados, ou outros materiais que permitam a distribuição do efluente no terreno para infiltração (BATALHA, 1989).

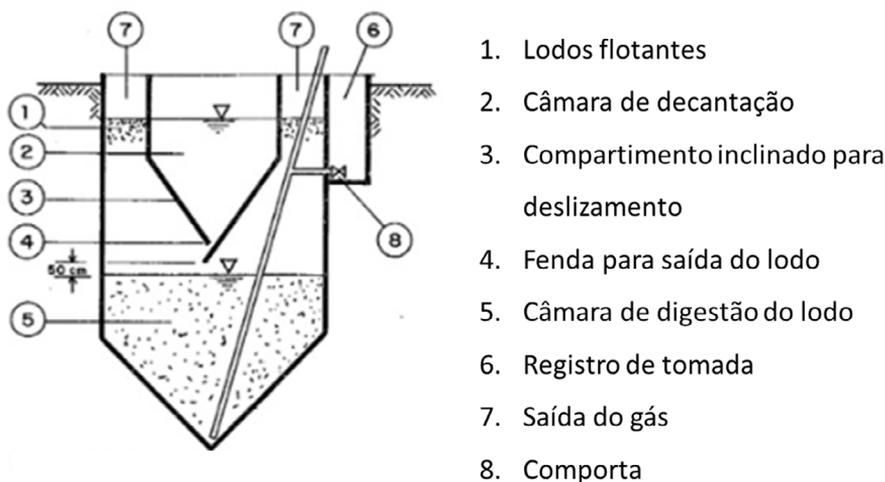
Outro sistema utilizado para o recebimento dos efluentes de fossa séptica são as valas de filtração. Esse sistema é indicado para solos impermeáveis ou saturados, locais onde são necessários elevados índices de remoção de poluentes, sendo que o efluente drenado pelas valas de filtração pode também ser disposto em corpos d'água superficiais. O sistema consiste em uma canalização superior que funciona de modo semelhante às valas de infiltração. Essa canalização é assentada sobre uma camada de areia que funciona como filtro e abaixo dessa camada de areia há uma outra canalização que funciona como um sistema de drenagem, sendo que o efluente é disposto no solo ou em corpos d'água após a passagem por essa canalização inferior (BATALHA, 1989; FUNASA, 2015).

### 4.11.2 Fossa-filtro

O sistema fossa-filtro, como o próprio nome diz, consiste na instalação de um filtro anaeróbio para realizar um tratamento complementar ao tratamento por fossas sépticas. Esses filtros são formados por um leito de pedras ou outro material inerte que possibilita aos microrganismos que irão processar o tratamento, se acumularem na superfície desses materiais, formando culturas de microrganismos anaeróbios aderidas ao meio filtrante. O líquido vai sendo tratado na medida em que atravessa o filtro, em fluxo ascendente, percolando o material de enchimento do filtro (FUNASA, 2015).

### 4.11.3 Tanque Imhoff

Os tanques Imhoff são similares a uma fossa séptica, porém, possuem geometria diferenciada, pois apresentam dois compartimentos, sendo um superior, constituído por uma câmara de decantação e um inferior, correspondente à câmara de digestão de lodo, conforme mostra a Figura 39. As duas câmaras estão desconectadas, com esgoto fluindo somente através da câmara de sedimentação superior, não havendo fluxo de esgoto na câmara de digestão inferior. A comunicação entre essas duas câmaras é feita por uma fenda por onde passa o lodo sedimentado (PESSOA e JORDÃO, 2017).



**Figura 39.** Esquema de um Tanque Imhoff.

Fonte: Adaptado de [aguasresiduales.info](https://www.aguasresiduales.info)<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Disponível em: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/tanque-imhoff-historia-y-principio-de-funcionamiento> Acesso em: 10 dez. 2022.

Esse tanque foi idealizado com a finalidade de minimizar a interferência entre os processos de sedimentação e digestão, que era uma inconveniência observada nos tanques sépticos de um único compartimento. Esse método possibilitou melhorias e maior eficiência no processo de digestão anaeróbia do lodo, devido à ausência de correntes ascendentes e descendentes na mesma câmara, o que ocasionava a mistura de esgoto fresco e lodo séptico. O efluente gerado também é de melhor qualidade, pois é praticamente livre de partículas sólidas (FUNASA, 2015).

### 4.11.4 Filtro biológico

Os filtros biológicos são reatores de alimentação contínua e possuem um elemento suporte pelo qual o esgoto percola. Esse meio suporte, também chamado de meio drenante ou filtrante, tem a finalidade de agregar a biomassa, e pode ser preenchido com material inerte, como pedregulho, pedra britada, cascalho, sendo que atualmente, materiais plásticos ou PVC, no formato de tubos ou anéis (Figura 40) têm sido bastante utilizados, pois apresentam algumas vantagens em relação às pedras e britas, pois apresentam menor peso e maior superfície específica, o que favorece o processo biológico, descrito a seguir (PESSOA e JORDÃO, 2017).



**Figura 40.** Anéis para enchimento de filtros biológicos.

Foto: Autores

Nos filtros biológicos, o esgoto passa através do meio suporte e a massa biológica fica aderida a esse meio, formando uma película de microrganismos de intensa atividade biológica, que degradam a matéria orgânica contida nos esgotos.

#### 4.11.5 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)

A demanda por sistemas de tratamento de esgotos no Brasil é elevada e o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias de tratamento de baixo custo, têm sido vistos como alternativa para diminuir essa demanda.

Esses sistemas, geralmente, além do baixo custo de implantação, apresentam baixo consumo de energia elétrica, baixos custos operacionais, simplicidade operacional e de manutenção, entre outros.

Os processos de digestão anaeróbia são indicados para o tratamento dos lodos gerados em estações de tratamento de esgotos, que possuem elevadas concentrações de sólidos e de matéria orgânica instável, sendo estabilizados total ou parcialmente nessas instalações, além de sofrerem uma significativa redução de volume nesse processo. Entretanto, com a evolução dessa tecnologia, os processos anaeróbios passaram a ser empregados no tratamento de esgotos, havendo diversos tipos de reatores disponíveis, que atendem desde pequenas populações, até grandes cidades (FUNASA, 2015; CAMPOS, 1999).

Muitas indústrias empregam sistemas de tratamento por reatores anaeróbios, especialmente as indústrias alimentícias e de bebidas, curtumes, abatedouros, frigoríficos, laticínios, dentre outras, sendo que esses sistemas também são bastante utilizados para o tratamento de esgotos sanitários, com características predominantemente domésticas, de origem residencial, dependendo da classe do corpo receptor onde serão lançados os efluentes tratados. Quando o tratamento isolado em reatores anaeróbios não é suficiente para atender os requisitos legais, eles podem ser utilizados previamente a outras unidades, como lagoas de estabilização, sistemas de disposição no solo, lodos ativados, entre outros, sendo essa uma forma de utilização bastante comum para esses reatores.

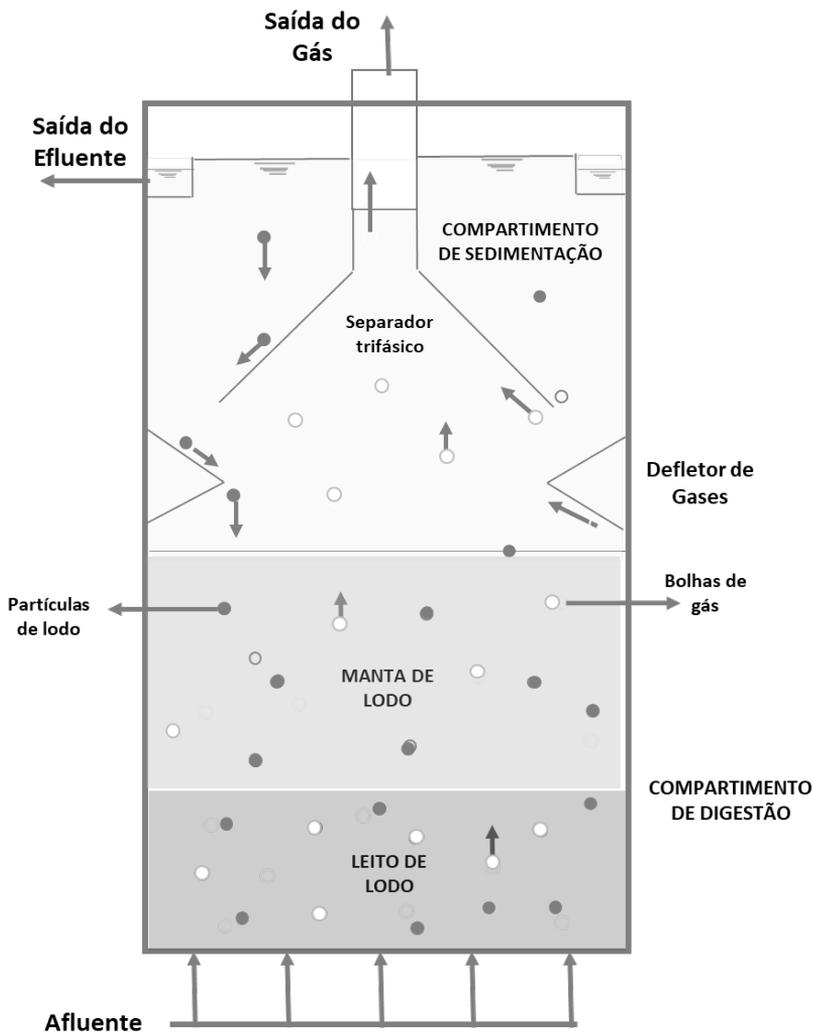
Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente, também chamados de reatores anaeróbios de manta de lodo ou reatores UASB, de acordo com a nomenclatura em inglês, “*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*”, possuem uma ampla faixa de utilização, principalmente em locais de clima quente, pois as bactérias que atuam na degradação biológica da matéria orgânica por vias anaeróbias têm sua atividade reduzida em meios onde a temperatura é inferior a 20 °C. Esses reatores funcionam como uma instalação única, podendo ser seguido de pós-tratamento, conforme mencionado (FUNASA, 2015).

Suas principais vantagens são o baixo custo de implantação, operação e manutenção, a economia de área, uma vez que são sistemas compactos, e a elevada eficiência de remoção de matéria orgânica, em torno de 65% a 75%, sem a necessidade de adição de produtos químicos. A quantidade de lodo gerado por esses sistemas não é elevada, e o lodo descartado já está estabilizado, podendo ser apenas submetido a processos de desaguamento e secagem. Além disso, existe a possibilidade de aproveitamento do gás metano gerado durante o processo anaeróbio. Entre as desvantagens, destacam-se a produção de odor e o tempo requerido para a partida do sistema, até que se atinja a estabilização do processo, sendo que esses reatores são pouco resilientes, ou seja, são bastante vulneráveis quanto ao recebimento de cargas tóxicas (CHERNICHARO, 2008).

Esses reatores funcionam sem a necessidade de material de enchimento para a sustentação da biomassa pois a sua configuração possibilita a formação de flocos ou grânulos de

lodo, de alta densidade, que ficam retidos no reator formando um espesso manto de lodo biológico, aos quais os microrganismos se aderem.

Nos reatores de fluxo ascendente, conforme mostra a Figura 41, o esgoto entra no dispositivo de tratamento, geralmente um tanque, pela parte inferior do reator (fundo) e sai pela parte superior, através de um decantador interno, num fluxo ascendente, em tempos de detenção hidráulica curtos, de 6 a 8 horas. Nesse processo, o esgoto permeia o leito (manto) de lodo, constituído por grânulos ou flocos que contêm elevada concentração de microrganismos anaeróbios que promovem a estabilização da matéria orgânica presente.



**Figura 41.** Princípio de funcionamento dos REATOR UASB.

Fonte: Adaptado de: Von Sperling, 2019

#### 4.11.6 Lagoa de estabilização

O tratamento de esgotos em lagoas de estabilização é uma das formas mais simples de tratamento conhecidas. Os processos que ocorrem nessas lagoas são semelhantes aos observados na natureza, em rios e lagos naturais, pois são concebidas tecnicamente de modo a oferecer condições que favoreçam o desenvolvimento dos processos físicos, químicos e biológicos característicos da autodepuração, constituindo, portanto, um exemplo bastante representativo dos processos naturais de equilíbrio biológico e ecológico.

Em locais onde as condições climáticas são favoráveis, as lagoas de estabilização são perfeitamente apropriadas, sendo indicadas para o tratamento de esgotos de pequenas ou médias comunidades, pois a construção das lagoas necessita de grandes áreas para implantação, que aumentam em função do número de pessoas atendidas. Desse modo, se a população de projeto for muito elevada, o sistema pode se tornar inviável pela necessidade de área. As lagoas são basicamente, reservatórios escavados no solo, providos de impermeabilização dos taludes e do fundo.

O tratamento em lagoas de estabilização atinge elevados níveis de eficiência e não requer grandes investimentos para a sua de implantação, especialmente em locais onde o custo do terreno é barato, sendo que os custos de operação e manutenção também são reduzidos, pois esses sistemas não possuem equipamentos especiais, motores e compressores a serem operados, e em consequência, não há consumo de energia elétrica, nem remoção periódica de lodo, o que já não se pode afirmar no caso das plantas onde se utiliza aeração mecanizada.

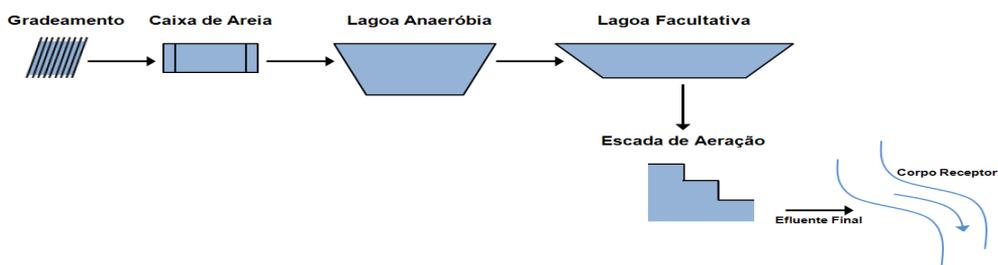
De modo geral, nos sistemas de tratamento por lagoas de estabilização, os cuidados cotidianos necessários se restringem à conservação e limpeza das margens, que é uma providência essencial para o controle de vetores, especialmente para evitar a proliferação de mosquitos, bem como à limpeza das grades e destinação final adequada dos resíduos retidos no gradeamento.

#### 4.11.7 Sistema australiano

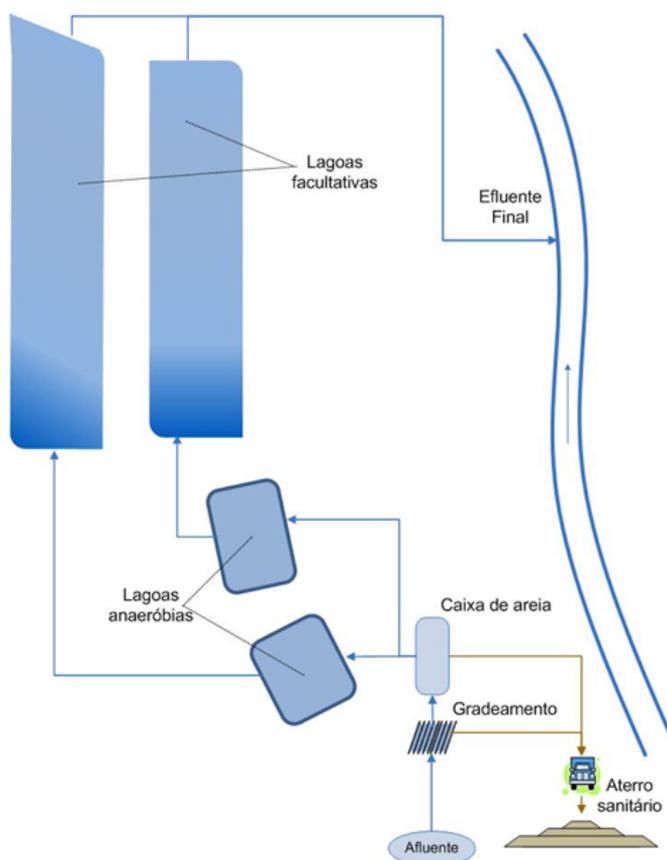
Desenvolvido na Austrália, o sistema de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas é bastante utilizado no Brasil. Esse sistema tem como uma de suas principais vantagens a economia de área, uma vez que a soma das áreas das lagoas, anaeróbia mais facultativa, é menor do que a área necessária para uma única lagoa facultativa alcançar resultados equivalentes. Esse resultado foi proporcionado pela lagoa anaeróbia, que requer menor área superficial e maiores profundidades, e alcança bons resultados de remoção de DBO, possibilitando remover uma parcela da matéria orgânica dos esgotos, antes da passagem pela lagoa facultativa.

Outra vantagem observada nesses sistemas, é a possibilidade de absorção de sobrecargas ou cargas de choque pela lagoa anaeróbia, antes de alcançar a lagoa facultativa, além da retenção dos sólidos presentes nos esgotos, que se acumulam nessas lagoas.

As Figuras 42, 43 e 44 mostram o esquema em perfil e em planta e a imagem de uma estação de tratamento de esgotos por sistema australiano, respectivamente.



**Figura 42.** Esquema de uma estação de tratamento de esgotos por Sistema Australiano.  
Elaborado pelos autores



**Figura 43.** Planta esquemática de uma estação de tratamento de esgotos por Sistema Australiano.  
Elaborado pelos autores



**Figura 44.** Estação de Tratamento de Esgotos por lagoas Sistema Australiano.

Foto: Acervo Sabesp

#### 4.11.8 Lagoas anaeróbias

Lagoas anaeróbias são aquelas nas quais predominam os processos em que a estabilização da matéria orgânica ocorre sem a participação do oxigênio dissolvido. Para evitar a penetração de oxigênio, essas lagoas costumam ter elevada profundidade, variando de três a cinco metros, e menor área superficial. Nas lagoas anaeróbias, a temperatura é um fator significativo, pois afeta o crescimento bacteriano e as reações químicas, que são favorecidas em temperaturas mais elevadas. Desse modo, as regiões de clima quente são as mais indicadas para o emprego desses sistemas.

As lagoas anaeróbias podem ser adotadas para o tratamento de efluentes com elevada carga orgânica, como é o caso de laticínios, matadouros, curtumes e outros. A eficiência de remoção de DBO observada nessas lagoas varia de 50 a 70%, e o tempo de detenção hidráulica de 3 a 5 dias. Mesmo atingindo esses níveis de remoção de DBO, o efluente dessas lagoas ainda apresenta elevada concentração de matéria orgânica, sendo requerido um tratamento posterior antes do seu lançamento em corpos hídricos receptores. Desse modo, pesquisas realizadas na Austrália, encontraram uma solução onde há melhor aproveitamen-

to, eficiência e alcance de resultados, por meio dos “sistemas australianos” de tratamento de esgotos, formados por um arranjo de lagoas constituído de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas, conforme mencionado.

### 4.11.9 Lagoas facultativas

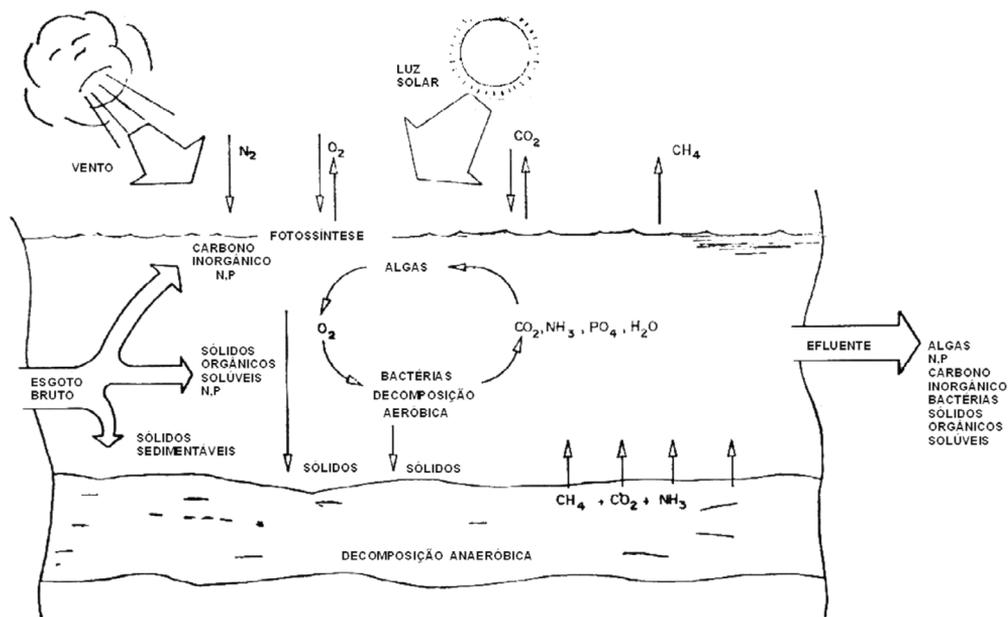
Os processos biológicos que ocorrem numa lagoa facultativa são baseados na respiração e na fotossíntese, atividades desenvolvidas nessas lagoas por duas espécies distintas, as bactérias e as algas, que coexistem nesse ambiente em simbiose permanente. Para a realização da fotossíntese é necessário que haja uma fonte de energia luminosa, suprida pela luz solar, confirmando-se a importância e a interferência do clima no processo de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização, que é mais indicado para locais com elevada radiação solar e baixa nebulosidade. A remoção de DBO nesses sistemas é resultante, principalmente, dos processos aeróbios que se desenvolvem nas camadas superiores das lagoas.

No fundo das lagoas facultativas, junto às camadas de lodo que se formam pela sedimentação da matéria orgânica que está em suspensão, o meio se torna anaeróbio, e nesse ambiente também se processa a decomposição da matéria orgânica, que é realizada de forma mais lenta, pelos microrganismos anaeróbios. Numa lagoa facultativa, as algas, que são organismos fotossintetizantes, na presença da luz solar, consomem o gás carbônico e liberam oxigênio para o meio. As bactérias presentes, sintetizam a matéria orgânica contida nos esgotos, que é utilizada como alimento, consumindo o oxigênio do meio nesse processo, e como subproduto dessa atividade, liberam o gás carbônico, que é elemento fundamental para a fotossíntese, estabelecendo-se assim, a simbiose entre algas e bactérias (VON SPERLING, 2017).

Por ser um processo natural, a estabilização da matéria orgânica ocorre de forma mais lenta, e desse modo, o tempo de detenção nessas lagoas é geralmente superior a 20 dias. Para a promoção da fotossíntese o sistema requer uma grande área de exposição aos raios solares, estando entre os processos de tratamento que mais necessitam de área para implantação, superados apenas pelos processos de disposição de esgotos no solo.

Para a manutenção do equilíbrio do sistema, é preciso evitar sobrecargas, a fim de que o oxigênio produzido durante o dia seja suficiente para garantir o processo de respiração pelas bactérias e pelas algas, que também respiram durante a noite, na ausência de luz. A quantidade de oxigênio no meio deve garantir a manutenção das condições aeróbias durante a noite também. Quando há uma sobrecarga no sistema, uma grande quantidade de alimento fica disponível, possibilitando uma rápida reprodução das bactérias, que ao consumirem a matéria orgânica disponível utilizam todo o oxigênio dissolvido, tornando o meio anaeróbio, causando um desequilíbrio no sistema.

O efluente das lagoas facultativas apresenta uma coloração esverdeada devido a acentuada presença de algas, bem como elevadas concentrações de oxigênio dissolvido e sólidos em suspensão. A Figura 45 apresenta os princípios de funcionamento de uma lagoa facultativa, de acordo com Pessoa e Jordão (2017).



**Figura 45.** Esquema representativo do funcionamento de uma Lagoa Facultativa.

Fonte: Pessoa e Jordão, 2017.

#### 4.11.10 Lagoas estritamente aeróbias

Nessas lagoas ocorre um equilíbrio entre os processos de fotossíntese e oxidação, de modo que são observadas condições aeróbias em todo o meio. Essas lagoas são raras, pois geralmente o lodo se deposita no fundo e permanece em condição de anaerobiose. Da mesma forma que as lagoas facultativas, possuem baixo custo de implantação e operação e são de fácil operação e manutenção.

#### 4.11.11 Lagoas de maturação

As lagoas de maturação têm como finalidade principal a remoção de organismos patogênicos, como bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos. Essas lagoas são projetadas com baixas profundidades, de modo a possibilitar maior penetração da radiação solar. As lagoas de maturação promovem o polimento do efluente tratado pelas lagoas de estabilização, ou de modo geral, de qualquer efluente tratado, podendo atingir níveis de eliminação total de ovos de helmintos e cistos de protozoários.

A concentração de coliformes totais no esgoto bruto é bastante elevada, chegando a atingir valores da ordem de  $10^6$  a  $10^9$  organismos / 100mL. Desse modo, a remoção

desses organismos deve alcançar níveis elevados de eficiência, acima de 99,9%, para atingir os padrões legais ou possibilitar a utilização dos efluentes tratados, por exemplo, para fins de irrigação. Para possibilitar o alcance desses índices, as lagoas de maturação devem possuir baixas profundidades, variando de 0,8 a 1,5 m, visando maximizar os efeitos bactericidas da radiação solar. Também nesse sentido, outro aspecto a ser observado considera o percurso a ser feito pelos esgotos nessas lagoas, podendo ser concebido um sistema de lagoas de maturação em série, geralmente com três células ou mais, bem como a adoção de lagoas providas de chicanas ou defletores que possibilitem o percurso dos esgotos em ziguezague ao longo da lagoa, até a saída do efluente final. (VON SPERLING, 2014)

Nas lagoas de maturação a desinfecção do efluente ocorre por processos naturais, e podem ser uma alternativa econômica em relação aos processos de desinfecção por cloração, radiação ultravioleta, entre outros (Figura 46).



**Figura 46.** Lagoas Aeradas seguidas por lagoas de maturação.

Foto: Acervo Sabesp

### 4.11.12 Lagoas de polimento

As lagoas de polimento foram concebidas para promover o refinamento de outros processos biológicos, mais especificamente, como pós-tratamento de reatores anaeróbios para a remoção de matéria orgânica, uma vez que os efluentes desses sistemas ainda apresentam concentrações elevadas de DBO. Da mesma forma que as lagoas de maturação, uma lagoa de polimento também possibilita a remoção de agentes patogênicos, uma vez que ambas são similares do ponto de vista conceitual, entretanto, recebem essa nomenclatura por terem como função principal, o polimento de efluentes tratados.

#### 4.11.13 Lagoas aeradas facultativas

A diferença básica entre uma lagoa aerada facultativa e uma lagoa facultativa convencional é a forma de introdução de oxigênio no sistema, que é feita por processos mecanizados de aeração artificial. Essas lagoas são apropriadas nos casos em que a disponibilidade de área é reduzida, pois conseguem atingir elevados níveis de eficiência em áreas substancialmente menores que as necessárias para uma lagoa de estabilização fotossintetizante, podendo atingir a proporção de até 1:5. O emprego de aeradores mecânicos promove o aumento das taxas de introdução de oxigênio da atmosfera na massa líquida, possibilitando que o tempo necessário para a decomposição da matéria orgânica seja reduzido em relação às lagoas convencionais, podendo variar na faixa entre 5 e 10 dias.

Dada a semelhança entre os processos e considerando as potencialidades das lagoas aeradas, não é raro observar a conversão de lagoas facultativas convencionais para lagoas com aeração mecanizada, por meio da instalação de aeradores. Essa alternativa é geralmente empregada nos casos em que as lagoas facultativas atingem sua capacidade máxima de tratamento e não há área disponível para ampliação do sistema.

Vale ressaltar que os aeradores utilizados nesses sistemas fornecem o oxigênio necessário à decomposição aeróbia da matéria orgânica, entretanto, não têm capacidade para manter os sólidos presentes em suspensão na massa líquida, que por essa razão sedimentam e formam uma camada de lodo no fundo da lagoa, que sofre decomposição anaeróbia. Esse fenômeno não ocorre nas lagoas aeradas de mistura completa, conforme será descrito a seguir.

Os aeradores são preferencialmente distribuídos de forma homogênea, conforme a geometria das lagoas, no entanto, é comum observar a ausência de aeradores na região final das lagoas. Isso se dá para melhorar as condições de sedimentabilidade nesses trechos e evitar a perda de sólidos pelo efluente.

#### 4.11.14 Lagoas aeradas de mistura completa

Nessas lagoas, a decomposição da matéria orgânica é realizada através de mecanismos de oxidação aeróbia. A quantidade de oxigênio fornecida ao sistema pelos aeradores é suficiente para garantir a eficiência do tratamento, sendo que o nível de agitação promovido pelos aeradores possibilita a mistura completa dos esgotos na lagoa e a manutenção dos sólidos em suspensão na massa líquida (VON SPERLING, 2017).

A mistura completa favorece o contato entre as bactérias e a matéria orgânica, aumentando a eficiência do processo, o que permite trabalhar com tempo de detenção variando de 2 a 4 dias. Nesses sistemas, não há sedimentação de lodo na lagoa, de tal modo que o efluente gerado possui as mesmas características da massa líquida em aeração, ou seja, apresenta elevada concentração de sólidos em suspensão, e por essa razão, torna-se necessário implantar lagoas de decantação para receber o efluente da lagoa aerada, para promover a sedimentação dos sólidos antes do lançamento do efluente nos corpos hídricos receptores.

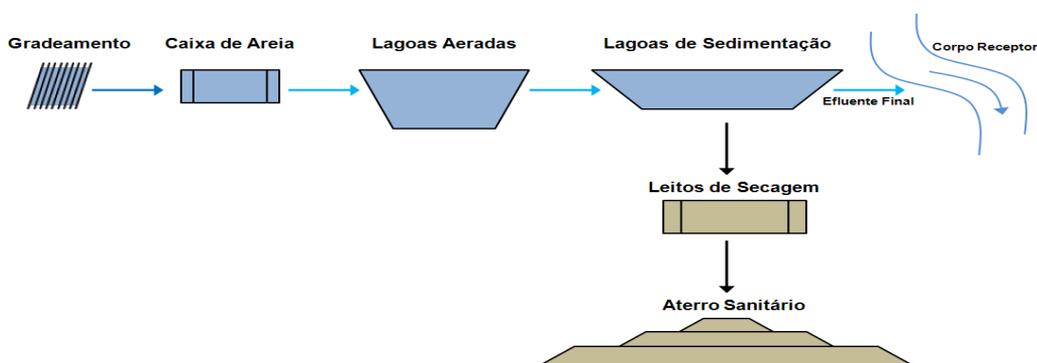
O tempo de detenção nas lagoas de sedimentação é em torno de 2 dias, sendo que esses sistemas podem ser concebidos para operar de duas formas distintas, que podem ser com remoção contínua do lodo do fundo, ou com acumulação do lodo na lagoa por alguns anos.

A remoção de lodo é uma atividade complexa, envolve transporte, destinação adequada e implica em custos operacionais. Mesmo que o sistema acumule os lodos por períodos de até 5 anos, ainda se trata de um tempo curto se comparado com outros processos por lagoas, nos quais o lodo pode permanecer por 20 anos sem a necessidade de remoção. As Figuras 47, 48 e 49 mostram a imagem de uma estação de tratamento de esgotos por lagoas aeradas, seu esquema em perfil e em planta, respectivamente.



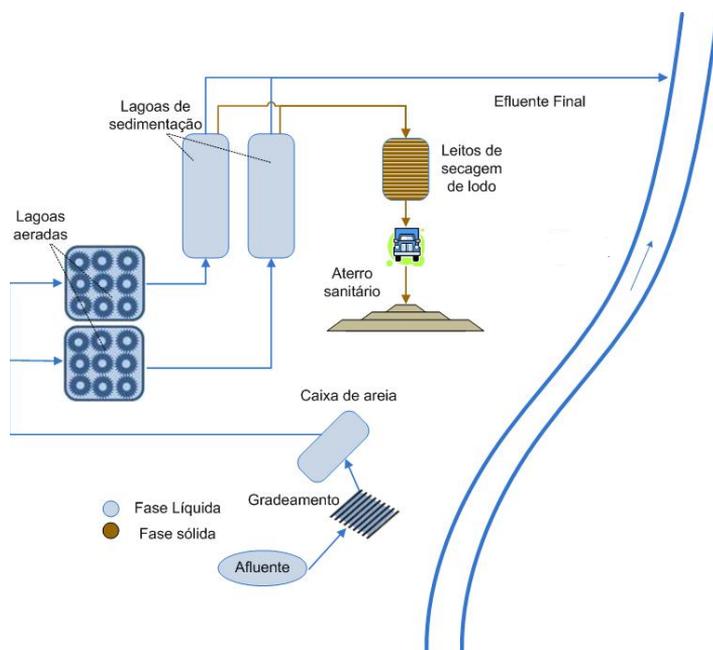
**Figura 47.** Estação de Tratamento de Esgotos por lagoas aeradas.

Fonte: Adaptado de Google Earth



**Figura 48.** Esquema de Estação de Tratamento de Esgotos por lagoas aeradas.

Elaborado pelos autores



**Figura 49.** Planta esquemática de Estação de Tratamento de Esgotos por lagoas aeradas.  
Elaborado pelos autores

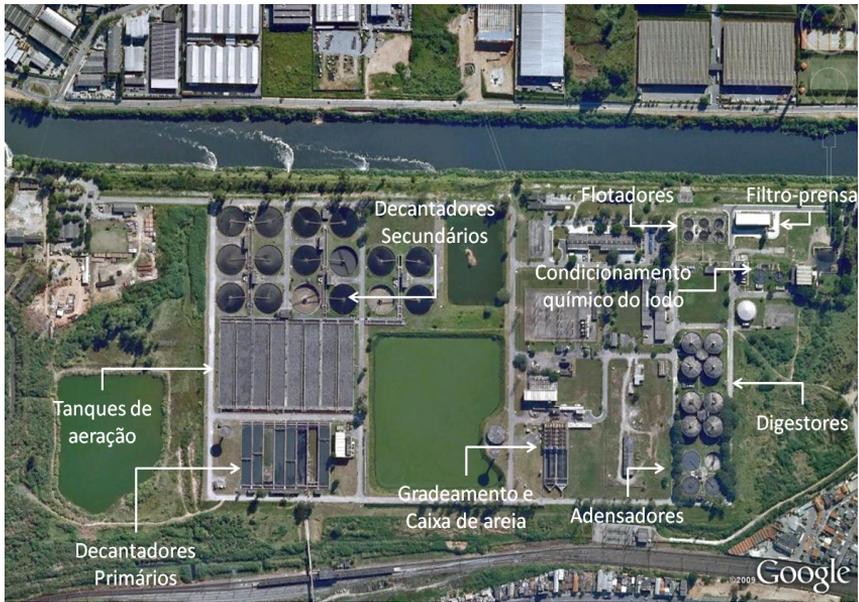
#### 4.11.15 Lodos ativados convencional

O processo de tratamento de esgotos em sistemas por lodos ativados também busca alcançar elevados índices de remoção de matéria orgânica, ocupando a menor área e no menor tempo possível, considerando uma relação custo/benefício custo exequível.

Esse processo de tratamento, da mesma forma observada para as lagoas de estabilização, é biológico, porém, a engenharia encontrou alternativas para potencializar o sistema, oferecendo condições ideais para o crescimento e a reprodução dos organismos que participam do tratamento, pelo fornecimento de oxigênio e “alimento” nas quantidades requeridas por esses organismos, buscando controlar o sistema de forma a manter o equilíbrio em relação a presença de matéria orgânica (“alimento”) e de organismos no meio.

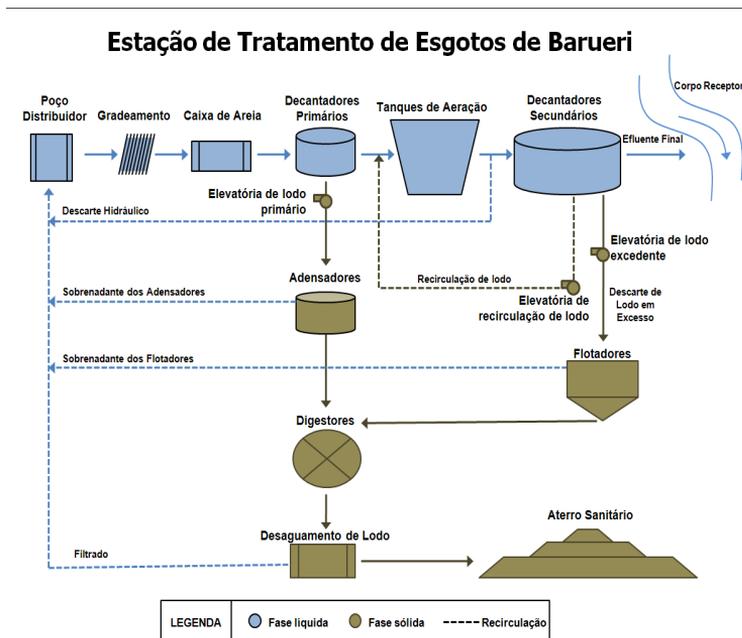
Para possibilitar esse equilíbrio, as estações de tratamento por lodos ativados possuem uma instalação denominada tanque de aeração, seguida por um decantador secundário, que serão descritos a seguir, lembrando que esse tratamento é realizado em nível secundário, sendo, portanto, precedido de um tratamento preliminar, para remoção de materiais grosseiros e areia, e de um tratamento primário, para remover parte da matéria orgânica presente nos esgotos, em torno de 30%.

As Figuras 50, 51 e 52 mostram a imagem de uma estação de tratamento de esgotos por lodos ativados, seu esquema em perfil e em planta, respectivamente.



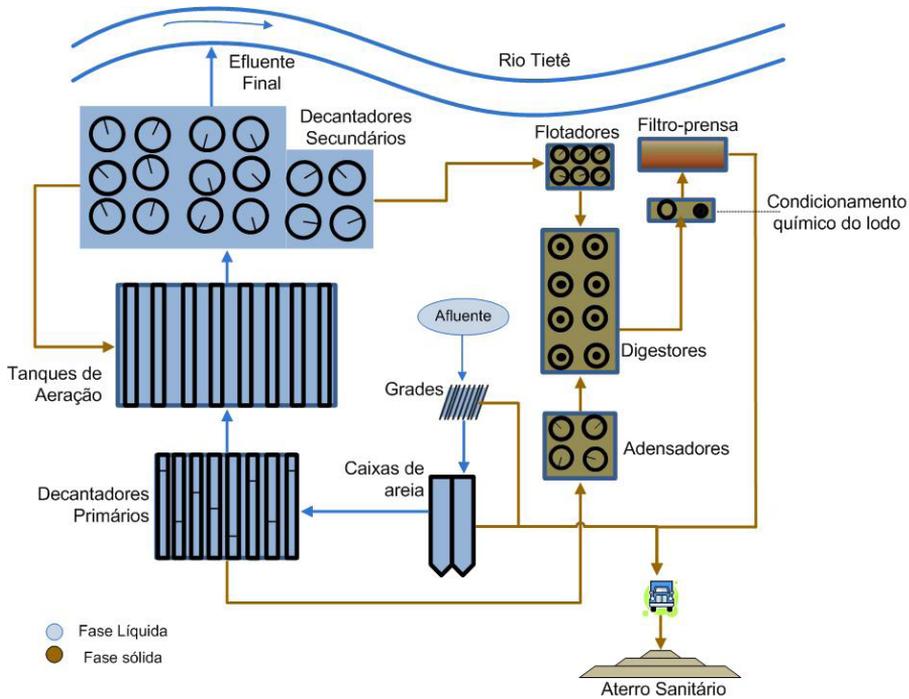
**Figura 50.** Estação de Tratamento de Esgotos por lodos ativados.

Foto: Adaptado de Google Earth



**Figura 51.** Esquema de Estação de Tratamento de Esgotos por lodos ativados.

Elaborado pelos autores



**Figura 52.** Planta esquemática de Estação de Tratamento de Esgotos por lagoas aeradas. Elaborado pelos autores

Nos exemplos apresentados nas figuras acima, o esgoto passa pelo tratamento preliminar por meio de grades que podem ser manuais ou mecanizadas, onde o material retido é removido manualmente ou através de sistema de rastelos de acionamento automático, e disposto em caçambas para posterior destinação final.

A seguir, os sólidos em suspensão de elevado peso específico, são removidos em caixas de areia. Estas unidades são dimensionadas para remover apenas os materiais com baixo teor de matéria orgânica, ou seja, areia, que também é posteriormente encaminhada para destinação final.

O esgoto que sai da caixa de areia ainda possui quantidades elevadas de sólidos em suspensão, que serão removidos em unidades de decantação primária. O material sedimentado nesses decantadores primários é encaminhado ao tratamento da fase sólida e o esgoto decantado é conduzido aos tanques de aeração.

Nos tanques de aeração processa-se o tratamento secundário. Essas unidades são reatores aerados mecanicamente, geralmente providos de difusores de bolha fina, que promovem a aeração da massa líquida presente.

Nessas unidades, os microrganismos que compõem a biomassa, se reproduzem e formam flocos biológicos, que se mantêm em suspensão no tanque, e são recirculados no sistema de tratamento. Essa recirculação é a chave do processo de tratamento por lodos ativados.

O esgoto é submetido a uma intensa atividade biológica nos tanques de aeração, e na sequência é encaminhado aos decantadores secundários, para separação da massa biológica. O líquido decantado já está depurado e é lançado nos corpos hídricos receptores; o lodo separado no decantador secundário retorna, em parte, ao tanque de aeração, sendo que a outra parte, o excesso de lodo, é encaminhado para o tratamento da fase sólida. Esse lodo recirculado, que retorna para o tanque de aeração, caracteriza o processo de lodos ativados, por tratar-se de um lodo que possui pouca matéria orgânica e muitos microrganismos, compondo uma massa biológica que ao retornar para o tanque de aeração potencializa o processo de estabilização da matéria orgânica contida nos esgotos.

A parte do lodo excedente, removida nos decantadores secundários, é encaminhada para a fase sólida, e passa por um processo de adensamento. Por ser um lodo mais leve, pode ser indicado o adensamento por flotação, em unidades onde são injetadas bolhas de gás na massa líquida, usualmente ar, que arrastam o lodo para a superfície para ser removido pela parte superior do adensador.

Ainda na fase sólida, o lodo retirado dos decantadores primários, também será submetido ao processo de adensamento, entretanto, por ser um lodo mais pesado, que possui uma concentração em torno de 1% de sólidos, pode ser adensado por gravidade, sendo retirado pela parte inferior do adensador.

O adensamento do lodo se dá pela remoção da água intersticial nele contida, sendo que a parte líquida removida retorna ao início do processo. Após o adensamento, o lodo pode alcançar uma concentração de cerca de 7% de sólidos, sendo enviado aos digestores anaeróbios para estabilização.

### 4.11.16 Lodos ativados por Aeração prolongada

O processo de tratamento por aeração prolongada é uma variação do processo de lodos ativados. Nesses sistemas, também conhecidos por oxidação total, o tempo de contato entre os microrganismos com a matéria orgânica é longo, ou seja, o tempo de aeração é prolongado, resultando numa pequena produção de lodo, e elevadas eficiências de remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

### 4.11.17 Disposição no solo e Tratamento em nível terciário: uma reflexão

No ano 2000 estimou-se, com segurança, que apenas 10% da população brasileira urbana tinha seus esgotos tratados. Os baixos níveis de atendimento no Brasil com serviços de saneamento básico, sobretudo coleta e tratamento de esgotos sanitários, devem-se, principalmente, a problemas de ordem política e econômica, pois não há, exatamente, empecilhos tecnológicos (NARDOCCI *et al.*, 2008). No que se refere ao tratamento de esgotos, sempre houve a opção preferencial de atuação nos grandes centros urbanos com tecnologia geralmente importada, que em muitos casos não se justificam, podendo ser adotadas tecnologias adaptadas às condições brasileiras, sem gerar dependência tecnológica.

É de suma importância que as estações de tratamento sejam concebidas de maneira perfeitamente inseridas no ecossistema em que se encontram localizadas, dando destinos definitivos tanto à fase sólida como à fase líquida dos esgotos para que a natureza não sofra impactos irreversíveis, e a planta de tratamento represente solução definitiva, eficiente e eficaz, como devem ser as barreiras sanitárias inseridas no ambiente (CAVINATTO e PAGANINI, 2007).

A urbanização levou à implantação dos sistemas públicos de coleta, aumentando-se desta forma o volume dos esgotos a serem dispostos. Nesse processo, porém, as questões ambientais foram negligenciadas, não havendo qualquer preocupação maior com o lançamento desses esgotos “in natura” nos corpos d’água, ou seja, a qualidade do corpo receptor e sua capacidade de assimilação, considerando o processo natural de autodepuração não eram observados. A deterioração ambiental provocada por esta prática fez com que as atenções se voltassem para a depuração e a disposição dos esgotos (PAGANINI, 2008).

Durante longo período, a única forma efetiva de lançamento e depuração controlada dos esgotos foi a disposição no solo, inclusive com finalidades agrícolas. Posteriormente, com a aceleração do processo de urbanização, uma série de fatores contribuíram para o desenvolvimento de processos de tratamento mais compactos (PAGANINI, 1997).

A tecnologia que se desenvolveu foi orientada, fundamentalmente, para a construção das estações de tratamento de esgotos denominadas convencionais secundárias, caracterizadas pela utilização intensiva de edificações e equipamentos, nelas processando-se a depuração dos esgotos por processos biológicos. Os efluentes do tratamento eram lançados nas águas superficiais, e o lodo removido, quando muito, era destinado para aterros sanitários. A experiência evidenciou a insuficiência desta tecnologia para resolver os problemas para os quais havia sido criada, pois os efluentes resultantes deste tratamento contêm, ainda, diversos elementos, especialmente os nutrientes que poluem os corpos d’água em que são lançados (PAGANINI, 2008).

Os esforços desenvolvidos para promover a remoção dos nutrientes mediante a utilização de processos ainda mais sofisticados, com a construção de estações de tratamento denominadas convencionais terciárias, revelaram que os custos envolvidos crescem exponencialmente com a eficiência obtida nos tratamentos, não tendo sido demonstrada a completa confiabilidade técnica das operações propostas. Além disso, perdura o paradoxo de se considerar os nutrientes contidos nos esgotos como um rejeito, enquanto ampliam-se as extensões de terras áridas e agrava-se a escassez mundial de fertilizantes (PAGANINI, 2008).

Estas constatações têm promovido a retomada das iniciativas para a disposição de esgotos no solo, tanto para a remoção de cargas poluidoras, como para a fertilização das terras, considerando-a uma alternativa tecnológica viável, de polimento, disposição final e também de tratamento de esgotos. De uma só vez, consegue-se a custos bem mais reduzidos, atingir a eficiência pretendida pelos tratamentos convencionais terciários, a utilização dos nutrientes contidos nos esgotos como fertilizantes e o aumento da disponibilidade de água para reúso (PAGANINI, 2008).

Desse modo, é necessário evitar o caminho percorrido por outras nações, nas quais a utilização intensiva e quase que exclusiva das estações convencionais e da disposição dos

efluentes nas águas superficiais revelou-se insuficiente e ineficaz. No entanto, a aplicação das técnicas de disposição no solo não é uma contraposição absoluta às estações convencionais, pois existem fatores limitantes de utilização do método, em determinadas regiões ou cidades (PAGANINI, 1997).

Ao entender o solo com um elemento depurador, e o sistema solo-plantas como um reator renovável, reator este regido pela natureza, pode-se entender também os esgotos e os efluentes de estações de tratamento como fontes de energia, e não como um problema ambiental (PAGANINI, 1997).

Na verdade, o que se faz nos tratamentos convencionais de esgotos é dissipar a energia contida nos mesmos, mineralizando a matéria orgânica e lançando-se os macros e micronutrientes nos corpos receptores. No tratamento ou no reúso por disposição no solo, esta energia é canalizada e utilizada para a produção de alimentos, recarga de aquíferos, irrigação de parques e áreas de lazer, etc .

A necessidade e a importância do desenvolvimento do processo de aceitação cultural, quanto à disposição ou reúso dos esgotos, não deve, em absoluto, ofuscar ou relegar a um segundo plano os cuidados com a segurança das condições sanitárias, pois um tratamento de esgotos ou uma reutilização de efluentes deve representar uma barreira sanitária, e não uma fonte de disseminação de agentes contaminantes (PAGANINI, 1997).

Assim, a disposição de esgotos no solo e o reúso apresentam-se como uma boa alternativa de postergar grandes investimentos, produzir e proteger o meio ambiente, desde que, entendido o sistema como um reator renovável, este seja mantido em equilíbrio, principalmente com a natureza, para que não venha a ser condenado à exaustão ou à indigestão deixando, desta forma, de cumprir as funções para as quais foi concebido (PAGANINI, 1997).

A prática tem mostrado que as melhores concepções têm sido aquelas que propiciam o consórcio de processos de tratamento, ou seja, a combinação que busque associar ou combinar processos de maneira a maximizar os pontos favoráveis, e minimizar os pontos fracos de cada um, tendo como resultado um sistema de tratamento de bom desempenho econômico, ambiental, de operação e manutenção (PAGANINI, 2008).

Em decorrência das várias opções e das inúmeras condicionantes, são muitas as variáveis determinantes a serem consideradas na escolha de alternativas tecnológicas para tratamento dos esgotos sanitários. Devem ser analisadas, avaliadas e comparadas, no mínimo, a eficiência na remoção de sólidos, de matéria orgânica, de microrganismos patogênicos e de nutrientes eutrofizantes; a capacidade de absorver as variações qualitativas e quantitativas do afluente; a capacidade do sistema de se reequilibrar após sofrer perturbações funcionais e retomar a estabilidade do efluente; os riscos de maus odores e de proliferação de insetos; as características regionais de uso e ocupação do solo; as condições de autodepuração do corpo receptor, sua capacidade de diluição e os usos previstos a jusante do lançamento dos efluentes; a facilidade de modulação e expansão; a complexidade construtiva; as facilidades e dificuldades para operação e manutenção; o potencial produtivo e os benefícios econômicos diretos e indiretos, inclusive o retorno social; e os custos diretos na implantação, operação e manutenção (PAGANINI, 2007).

A ampliação dos programas de controle da poluição ambiental, o estabelecimento de incentivos às iniciativas de produção mais limpa e a constante busca de alternativas que causem o menor dano e o maior benefício possível ao cidadão e ao meio ambiente, aliados aos mecanismos de fiscalização, não somente como uma ação unilateral do poder público, mas com envolvimento e a participação ativa da sociedade, podem garantir a eficácia das ações em saneamento e trazer benefícios ainda maiores, se houver uma integração dessas ações com os sistemas de saúde e de modo geral, de desenvolvimento urbano.

# Capítulo 5.

## Sistemas de Drenagem Urbana

### 5.1 Uma mudança de paradigma

Neste capítulo serão descritos sob o ponto de vista técnico, os sistemas de drenagem urbana. Com o passar do tempo, diferentes aspectos da drenagem urbana têm sido estudados e os paradigmas nessa área da engenharia estão mudando desde então.

Inicialmente, a maior preocupação dos engenheiros e urbanistas era prover a imediata transferência das águas da área urbana para áreas não habitadas. Atualmente, urbanistas, arquitetos e engenheiros não somente consideram o manejo quantitativo e controle do escoamento superficial, mas também grande ênfase é dada à qualidade da água do escoamento. O tempo de retenção da água no meio, passou de “quanto mais rápido, melhor” para uma visão sistêmica, que também visa a redução do volume escoado e a dinâmica de escoamento (LA LOGGIA *et al.*, 2020).

A preocupação com a água de escoamento superficial em áreas urbanas surgiu das observações de que essa carga causava a maior parte dos impactos negativos observados nos corpos hídricos receptores (DÍAZ-GRANADOS *et al.*, 2009). Dentre os impactos destacam-se a erosão e o assoreamento, a eutrofização e a diminuição da qualidade da água para como manancial de abastecimento público. Alguns trabalhos indicaram que a carga de poluentes contida em enxurradas, após intensos eventos de precipitação, pode ser superior à poluição causada por fontes pontuais de descarte de efluentes (ST-HILAIRE *et al.*, 2016).

### 5.2 Águas pluviais e drenagem urbana

Os sistemas de drenagem urbana são infraestruturas indispensáveis para a coleta e transporte de água da chuva até os corpos receptores. Apesar do recente desenvolvimento de novas tecnologias e conceitos, o planejamento de sistemas de drenagem de águas pluviais eficientes continua sendo desafiador.

Dois dos principais desafios na atualidade, principalmente nos países em desenvolvimento, são a expansão urbana associada à ocupação irregular, além dos eventos extremos,

de precipitação mais intensa e com menor previsibilidade. Em consequência, a frequência e magnitude dos eventos de alagamento também têm aumentado nos centros urbanos (LA LOCGIA *et al.*, 2020).

Além dos problemas associados à impermeabilização nos centros urbanos, as cidades criam o que pode ser definido como ilhas de calor (WORAWIWAT *et al.*, 2021). Nas cidades, as superfícies naturais são substituídas por outras com propriedades térmicas bastante diferentes das anteriores. Essas superfícies normalmente retêm mais calor, resultando em temperaturas do ar nas cidades em torno de 2 a 10°C maiores do que nas áreas não urbanizadas (GAGO *et al.*, 2013). A alteração no ambiente urbano é uma das razões nas alterações do ciclo hidrológico. Com temperaturas mais elevadas há aumento da incidência da chuva classificada como convectiva, que é a de incidência pontual, mas que ocorre em alta intensidade. Esse tipo de chuva é o que mais resulta em situações de alagamento.

### 5.3 Urbanização e drenagem

Mudanças do uso da terra associadas com a urbanização incluem remoção da vegetação e impermeabilização de áreas de reposição de águas subterrâneas. Essas intervenções resultam em mudanças da superfície de escoamento, que afetam toda a bacia hidrográfica, pelo aumento do volume escoado e dos picos de escoamento superficial (GALSTER, 2006). Ações antropogênicas em áreas urbanas geram resíduos e poluentes sobre as áreas de drenagem que podem ser carregados para os corpos hídricos durante os eventos de precipitação. A construção de sistemas de drenagem é importante para a manutenção da funcionalidade das áreas construídas e para promover a saúde pública.

As águas de enxurrada podem conter, além dos poluentes depositados ao longo do tempo, como partículas e óleos lubrificantes, o transbordo de sistemas de esgotamento sanitário (PRODANOFF e MASCARENHAS, 2010). Nas instalações antigas usava-se o sistema combinado de drenagem e esgotamento sanitário, facilitando a mistura de dejetos e patógenos com a água das enchentes. Esse tipo de instalação foi utilizado no Brasil no final do século XIX. Ainda nos sistemas modernos, destinados exclusivamente aos efluentes sanitários, algumas instalações residenciais conectam, inadequadamente, as águas de drenagem com o sistema de coleta e afastamento de esgotos.

A qualidade das águas de enxurrada varia consideravelmente, pois depende do nível de poluição da superfície antes do período de precipitação e também da intensidade da chuva. As áreas urbanas resultam em maiores picos de escoamento e volume escoado. Essas condições aumentam a velocidade do fluxo e, em consequência, forçam os corpos receptores a ajustar suas propriedades geomórficas. Como exemplo, tem-se as calhas dos rios nas áreas urbanas, que passaram por processos de redirecionamento de fluxo para aumentar a velocidade de escoamento (STEVAUX *et al.*, 2009). Originalmente, os rios em planícies e várzeas apresentam canais meandrantés, que serpenteiam as áreas de inundação, como ilustrado na Figura 53.



**Figura 53.** Rio Pinheiros no município de São Paulo antes do processo de urbanização.

Fonte: Associação Águas Claras do Rio Pinheiros <sup>12</sup>

Os efeitos das águas pluviais nos corpos hídricos podem ser classificados como agudos ou crônicos, assim como diretos e indiretos. O descarte dessas águas pode influenciar as condições hidromorfodinâmicas do curso d'água, sua qualidade e o ambiente aquático.

As águas pluviais transportam diferentes poluentes, tanto orgânicos quanto inorgânicos. É possível dividi-los em seis grupos: sólidos suspensos; metais pesados; matéria orgânica lábil; poluentes orgânicos persistentes; patógenos; e nutrientes (ELLIS e HVITVED-JACOBSEN, 1996). A seguir, são apresentadas as principais fontes desses poluentes em águas pluviais em áreas urbanas:

- Sólidos suspensos: as fontes nas áreas urbanas incluem construções e atividades de terraplanagem, pavimento, deposição atmosférica e resíduos sólidos urbanos;
- Metais pesados: nas cidades, são fontes desse grupo de poluentes, os veículos e seus componentes, revestimentos de pneus, combustíveis e lubrificantes, placas e estruturas metálicas, indústrias e resíduos sólidos urbanos, como televisores e componentes eletrônicos descartados irregularmente;
- Matéria orgânica lábil, que corresponde a matéria orgânica em estágio inicial de decomposição, instável: restos de vegetação, dejetos animais e transbordos de sistemas de esgotamento sanitário são as principais fontes de matéria orgânica lábil nas águas pluviais nas áreas urbanas;

<sup>12</sup> Associação Águas Claras do Rio Pinheiros: Rio Pinheiros - Sua História e Perspectivas. Disponível em: [<https://www.youtube.com/watch?v=0ZDfLI2BuW4>] Acesso em 10 dez. 2022.

- Compostos orgânicos persistentes: nas cidades, provêm da queima incompleta de combustíveis, abrasão dos pneus no asfalto, deposição atmosférica e subprodutos de plásticos, como os usados na construção civil, por exemplo, as lonas;
- Patógenos: são fontes de patógenos em águas pluviais em áreas urbanas, as fezes e urina de animais domésticos e sinantrópicos, assim como o transbordo de sistemas de esgotamento sanitário;
- Nutrientes: são carregados pela chuva após deposição atmosférica nas áreas urbanas, assim como enriquecem as águas pluviais urbanas quando do transbordo dos sistemas de esgotamento sanitário.

A sazonalidade e uso da terra são importantes fatores que influenciam na qualidade das águas pluviais em áreas urbanas. Desta forma, a caracterização e manejo dessas águas devem considerar esses fatores. Por exemplo, a concentração dos poluentes que se acumulam ao longo do tempo nas áreas urbanas deve ser maior após longos períodos de seca. Em eventos extremos, deve-se esperar maior carga de sólidos e, possivelmente porventura, excedentes do sistema de esgotamento sanitário.

## 5.4 Controle da drenagem: abordagem clássica X abordagem moderna

Os sistemas de drenagem convencionais são normalmente orientados pelo objetivo único de controlar a quantidade de água escoada em determinado período de tempo. Os conceitos modernos de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas incluem maior ponderação para outros aspectos na gestão de recursos hídricos, como a qualidade da água escoada, o impacto visual dos sistemas de drenagem e seu valor recreacional, a proteção da biota aquática e a disponibilidade hídrica para múltiplos usos (VERWORN, 2002).

Nesse contexto, são incluídos no gerenciamento de águas pluviais, conceitos de sustentabilidade visando aliviar os efeitos adversos das fontes de poluição difusa e da pressão ambiental exercida por grandes volumes de água. Esses conceitos se baseiam no tratamento local da água, retenção de volumes, reúso, infiltração e condução de escoamento superficial. Ao mesmo tempo, o potencial de utilização de águas pluviais em áreas de lazer tem sido reconhecido, principalmente em centros urbanos com escassez de áreas verdes. Desta forma, a drenagem de águas pluviais tem recebido cada vez mais caráter interdisciplinar, principalmente em relação a saúde pública e disponibilidade hídrica.

O sistema de drenagem convencional, normalmente está instalado em paralelo com o sistema de esgotamento sanitário. Eventualmente, pode ocorrer a contaminação cruzada nos sistemas em razão de vazamentos e transbordos, aumentando o risco de contato da população com patógenos.

#### 5.4.1 Abordagem clássica: canalização/escoamento

Os sistemas de drenagem tradicional capturam a água pluvial e subsequentemente a distribuem para os cursos d'água mais próximos, seja por via superficial ou subsuperficial, através de tubulações. Nos sistemas mais antigos ou mesmo em instalações atuais inadequadas, a água da chuva é direcionada para os sistemas de esgotamento e, eventualmente, para as estações de tratamento. Atualmente esses sistemas mistos são considerados extremamente ineficientes, uma vez que grandes volumes de água são concentrados e tratados utilizando-se tecnologias onerosas e resultam em grande oscilação na qualidade e quantidade de efluentes. Em consequência, a operação das estações de tratamento também fica comprometida.

#### 5.4.2 Abordagem moderna

Com o conjunto dos princípios modernos de drenagem urbana tem sido proposto o conceito de Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana (SSDU). As práticas estruturais mais comuns que compõem os SSDU incluem a utilização de superfícies filtrantes, de superfícies permeáveis, a construção de represas, de bacias de retenção e dos chamados “*wetlands*”, a captação de água pluvial e a construção ou manutenção das várzeas de inundação. No entanto, um SSDU também deve incluir ações de educação ambiental, treinamento, políticas públicas e legislação (FRYD *et al.*, 2012).

O controle das águas pluviais na origem objetiva reduzir o escoamento superficial e a carga de poluentes nos sistemas de drenagem. A vantagem é que esses métodos normalmente são mais econômicos quando comparados a construções e sistemas de tratamento. No entanto, essa condição pode não ser universal e uma análise de custo-benefício deve ser feita antes da tomada de decisão sobre o melhor método a ser empregado em cada situação.

As medidas de controle na origem podem ser não estruturais, mediante a utilização de ferramentas alternativas em vias e instalações prediais, que minimizam as áreas impermeáveis e maximizam o uso do solo e vegetação; reduzem a contaminação da água pluvial; e adotam ações de educação ambiental em subsídio para o descarte adequado de resíduos sólidos urbanos. Por outro lado, medidas estruturais incluem intervenções estruturais, próximas ao local de concentração das águas pluviais, como áreas de infiltração e armazenamento para posterior reúso.

Apesar dos muitos benefícios já observados pelo uso de SSDU, algumas técnicas necessitam de constante manutenção ou até mesmo podem ser inviáveis ao longo do tempo. Por exemplo, valas de infiltração podem ser impermeabilizadas em um curto intervalo de tempo, quando a água a ser infiltrada carrega grande quantidade de sólidos, não justificando o investimento. Por outro lado, quando a água a ser infiltrada for relativamente livre de material particulado, como no caso de águas que escoam dos telhados, as valas de infiltração são bastante eficientes (Figura 54).



**Figura 54.** Vala de infiltração da água da água pluvial que escoo do telhado de uma das estruturas da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, em Sorocaba. Exemplo de pavimentação com pedras em forma de paralelepípedo.

Foto: Leonardo Machado Pitombo

A água pluvial tratada é adequada para diversas aplicações, a depender da tecnologia de tratamento adotada. Aplicações para água não potável incluem irrigação de jardins, lavagem de automóveis e descargas sanitárias. Aplicações que requerem contato direto, como banho e lazer são tecnicamente possíveis caso a água passe por tratamento adequado que garanta a saúde humana.

Há diversos métodos que podem ser utilizados para captar água pluvial. Os mais viáveis e comuns incluem uma área de coleta, um sistema de transporte, um sistema de descarte de fluxo inicial e um sistema de estocagem. As áreas de coleta típicas são os telhados de construções, que estão sujeitos a deposições atmosféricas, fezes de animais e subprodutos da degradação dos materiais que compõem o telhado, incluindo metais. A concentração desses contaminantes na água pluvial é maior no início da chuva e, por esta razão, recomenda-se o descarte da primeira chuva, correspondente à drenagem dos primeiros 2 a 3 mm de chuva. Além desse sistema de descarte, pode-se utilizar telas e filtros para evitar a entrada de detritos e animais no sistema.

Apesar da utilização desses mecanismos, a água coletada em sistemas de água pluvial apresenta alta variabilidade qualitativa. Na prática, não há medida técnica que garanta a qualidade microbiológica dessas águas. Além disso, é comum o crescimento de biofilmes microbianos nos reservatórios, que ao mesmo tempo em que podem ser benéficos auxiliando na remoção de poluentes e competindo com o crescimento de patógenos, podem servir de suporte a estes. As águas pluviais estão sujeitas a ocorrência dos mesmos patógenos encontrados nas águas superficiais, inclusive de origem fecal, em razão da possível conta-

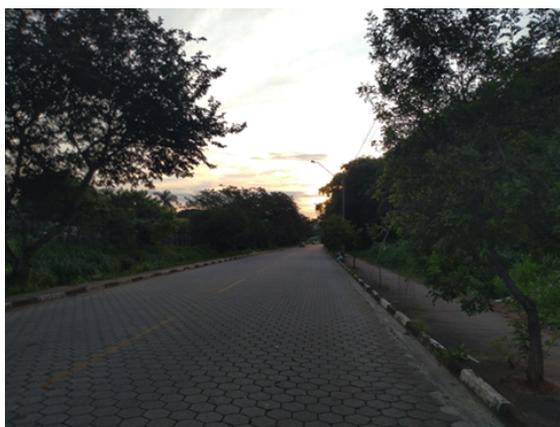
minação por dejetos animais, principalmente aves e roedores que podem circular sobre as superfícies de coleta (CURRIERO *et al.*, 2001).

As bacias de contenção são principalmente construídas para mitigar os picos de fluxo durante os eventos de precipitação (HANCOCK *et al.*, 2010). Os denominados “wetlands” são estruturas semelhantes, que incorporam plantas no sistema e tem uma lâmina de água mais rasa. No entanto, os “wetlands”, ao incorporarem plantas, propiciam o tratamento da água com a remoção de nutrientes e, eventualmente, de outros poluentes. Além disso, os “wetlands” típicos incluem um tanque de sedimentação para remoção de sólidos sedimentáveis e controle de vazão. O fluxo de água nos “wetlands” não pode ser interrompido para o funcionamento adequado do sistema e promover o crescimento vegetal.

Os biofiltros podem ser utilizados para tratar e melhorar a qualidade das águas pluviais (HATT *et al.*, 2007). Sua aptidão para o controle de alagamentos acaba sendo secundária, uma vez que a principal finalidade da técnica é viabilizar o reúso da água. Os desenhos dos biofiltros podem ser verticais ou horizontais, mas preferencialmente a água flui pela força da gravidade. Os poluentes da água são removidos pela ação dos microrganismos, principalmente biofilmes microbianos e plantas. As matrizes tradicionais para suporte dos biofilmes e plantas são areia, zeolita e antracito.

A utilização de revestimentos permeáveis é adequada para uma grande variedade de instalações, desde residenciais até comerciais, industriais e vias públicas (SCHOLZ e GRABOWIECKI, 2007). Embora caindo em desuso em razão da escassez de mão-de-obra e questões práticas, especialmente pela falta de uniformidade, vibrações e baixa tração, a pavimentação com pedras em forma de paralelepípedo é um dos métodos que reduz o escoamento superficial. Este método ainda pode ser visto com frequência em municípios do interior do país devido ao baixo custo de manutenção (Figura 55).

Quando o transporte de poluentes para o lençol freático é uma preocupação, a implantação de pavimentos permeáveis deve prever a utilização de sistemas de captação da água para posterior tratamento.



**Figura 55.** Avenida Maria Scavonne Salvador, no município de Itatiba

Foto: Leonardo Machado Pitombo

Apesar da variedade de possíveis aplicações de revestimentos permeáveis, normalmente eles são empregados em locais com baixo tráfego e necessidade relativa de resistência. Ainda assim, em casos isolados pode-se observar a utilização de revestimentos permeáveis em vias com tráfego pesado.

Na Figura 56, observa-se que distribuição das pedras está uniforme, o que tende a causar pouca vibração com o tráfego. No entanto, com o passar do tempo e intensidade de tráfego podem surgir ondulações.



**Figura 56.** Exemplo de pavimentação com pedras em forma de paralelepípedo.

Foto: Leonardo Machado Pitombo

## 5.5 Políticas públicas

Sustentabilidade é frequentemente a força motora para a evolução das políticas públicas em países desenvolvidos. Em contraponto, os alagamentos ainda constituem uma das principais questões de saúde pública nos países em desenvolvimento, onde vive a maioria absoluta da população mundial.

Em muitos casos, os problemas de drenagem urbana estão associados, principalmente, com a superpopulação e a ineficiência em esgotamento sanitário. Os eventos extremos aumentam os desafios do manejo das águas pluviais, resultando em alagamentos, inclusive nas grandes cidades em países desenvolvidos. Na Europa, os prejuízos relacionados aos danos causados por alagamentos, na primeira década dos anos 2000, foram estimados em 5 bilhões de Euros por ano e a expectativa é que esse valor quadruplique até o ano de 2050 (ALFIERI *et al.*, 2016).

A incorporação das técnicas disponíveis de SSDU nos setores de tomada de decisão é um desafio devido ao seu caráter multidisciplinar, ressaltando-se que a correta gestão das águas

urbanas está diretamente relacionada ao uso e ocupação do solo, que deveria ser regido pelos planos diretores dos municípios. O manejo sustentável da água pluvial deve integrar aspectos técnicos, sociais, ambientais e legais.

Em muitas situações, as áreas de várzea, sem qualquer infraestrutura, são ocupadas irregularmente. Atualmente a legislação não permite a construção em áreas inundáveis, mas em áreas invadidas, o aspecto social precisa de especial atenção, sem negligência aos aspectos legais.

Os centros urbanos historicamente cresceram ao longo dos cursos d'água, sem preocupação com os efeitos da urbanização sobre o regime hídrico local e regional. Nesses casos, devem ser buscadas alternativas técnicas que reduzam o risco de alagamentos e danos associados à exposição da população.

Nas áreas em processo de urbanização, no entanto, os aspectos legais devem se impor, a fim de evitar a ocupação de áreas de risco, sendo esse um dos desafios do planejamento urbano: mostrar para a comunidade que o que era feito no passado, como construir à beira dos cursos d'água, não pode continuar a ser feito, por razões de segurança e saúde. Nesse sentido, também se torna importante a conscientização da população para uma mudança de cultura de uso e ocupação do solo, o que engloba aspectos de educação ambiental.

Nas áreas privadas, o governo não dispõe de mecanismos para impor a utilização de técnicas que se enquadrem nos princípios de SSDU e nas áreas rurais existem mecanismos para orientar e exigir a utilização de práticas conservacionistas do solo, com exceção das atividades passíveis de licenciamento ambiental. Nesse caso, medidas mitigadoras para melhorar as condições de drenagem poderiam ser requeridas como contrapartida à implantação de determinado empreendimento.

A utilização de instrumentos pelo poder público para incentivar a utilização de pavimentos permeáveis ou a coleta de águas pluviais para reúso são exemplos de ações que podem induzir a uma importante mudança de hábitos e cultura da população. Nesses casos, os incentivos podem ser na forma de descontos em impostos e taxas para as residências ou empreendimentos que adotem soluções para promover o manejo sustentável das águas pluviais.

### 5.6 Áreas alagadas e riscos à saúde pública

Crescimento populacional, rápida urbanização e eventos extremos têm exercido pressão sobre os recursos hídricos e degradado o ambiente, com possíveis consequências à saúde pública. Alguns autores denominam como “síndrome do córrego urbano” os efeitos da urbanização no sistema hidrológico, descrevendo os problemas complexos relacionados com a mudança da cobertura do solo e dos cursos hídricos (BOOTH *et al.*, 2016).

Saúde pública e segurança são os maiores componentes de todos os programas de manejo de águas pluviais, que devem priorizar ações para minimizar o extravasamento de esgotos, assim como focar na redução de vetores e patógenos de veiculação hídrica. Ainda que frequentemente negligenciado, o controle de mosquitos é essencial para o controle da

transmissão de doenças. Conforme apresentado do Capítulo 2, uma série de arboviroses depende dos mosquitos sinantrópicos como vetores.

A grande maioria dos casos de doenças de veiculação hídrica passa sem notificação em razão da dificuldade de diagnóstico. Na ocorrência de alagamentos, essa condição é agravada em razão da maior difusão de contaminantes, sendo constatado que eventos de precipitação intensa resultam na ocorrência da maioria absoluta dos surtos de doenças de veiculação hídrica (CURRIERO *et al.*, 2001).

Além dos possíveis agentes etiológicos presentes nas superfícies urbanas, como terrenos, parques e vias, os dutos de drenagem urbana normalmente acumulam sedimento e não têm contato com a luz. Esses ambientes se tornam reservatórios para microrganismos potencialmente patogênicos que, com os eventos de alagamento podem contaminar a população local. Além disso, os roedores que habitam essas galerias são reservatórios da bactéria transmissora da leptospirose.

As águas pluviais normalmente excedem os limites de bactérias coliformes estabelecidos para recreação. Junto a esse grupo de microrganismos indicadores as águas pluviais carregam microrganismos patogênicos que causam infecções cutâneas e gastrointestinais. Além disso, o consumo de frutos do mar contaminados com essas águas pode causar desde diarreia, até Hepatite A.

# Capítulo 6.

## Sistemas de Resíduos Sólidos

### 6.1 Resíduos sólidos: uma nova fonte de recursos

As atividades humanas sempre geraram resíduos. Esses resíduos causaram poucos problemas quando em comunidades nômades e dispersas e quando os resíduos até então apresentavam baixo potencial de perigo. No entanto, com a urbanização e industrialização a geração de resíduos se tornou um grande problema de saúde pública e ambiental. O manejo inadequado de resíduos pode levar a contaminação e poluição da água, do solo e da atmosfera, causando impactos à saúde e ao meio ambiente.

Os resíduos sólidos são quaisquer materiais descartados por um indivíduo, residência ou organização. Desta forma, apresentam composição complexa e variável. Neste capítulo serão apresentados os diversos tipos de resíduos sólidos, como os resíduos domésticos, de construção, de saúde e de saneamento, descrevendo suas principais características e composição, as metodologias de tratamento e utilização e, quando for o caso, a destinação final, sendo também abordados os potenciais impactos à saúde quando o sistema de gerenciamento de resíduos não é eficiente.

No contexto atual de escassez de recursos e alta geração de resíduos, os materiais resultantes de processos, em geral, devem se tornar subprodutos. Desta forma, neste capítulo também serão abordadas alternativas de tratamento e utilização benéfica, que além de minimizar os efeitos da produção de resíduos, agregam valor aos materiais e aos processos de tratamento.

### 6.2 Definição de resíduos sólidos

A fim de fornecer subsídios para o gerenciamento de resíduos sólidos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT estabeleceu uma comissão de estudo para criação de uma norma técnica para classificação de resíduos. As discussões nas comissões da ABNT geralmente feitas em reuniões abertas, sendo que usualmente participam membros da academia, representantes dos órgãos públicos e instituições privadas. Apesar de não ter efeito

de lei, as normas técnicas são amplamente difundidas e aplicadas e podem ser utilizadas como referência por órgãos públicos, justamente por levar em consideração a opinião de diversos agentes da sociedade, durante a sua elaboração. A primeira versão da norma que trata da classificação de resíduos sólidos, a ABNT NBR 10.004, foi disponibilizada em 1987, sendo posteriormente revisada em 2004.

A Norma define resíduos sólidos como sendo:

*Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia*<sup>13</sup> (ABNT, 2004, p. 01).

A norma ABNT NBR 10.004:2004, apresenta a classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem e periculosidade, cujos detalhes são abordados no item 6.4.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece que a classificação dos resíduos sólidos deverá ser realizada de acordo com lei, regulamento ou norma técnica (BRASIL, 2010). Neste último caso, a ABNT NBR 10.004:2004 seria o instrumento utilizado atualmente. Com força de lei, tanto a classificação e as diretrizes para o gerenciamento de resíduos devem seguir a PNRS. Tipicamente, resíduos sólidos são qualificados em categorias de acordo com a sua origem como resíduos domiciliares, comerciais, industriais, agrícolas, de saúde, da construção civil e do saneamento.

### 6.3 Panorama e características dos resíduos sólidos domiciliares e não domiciliares

A quantidade e a composição dos resíduos gerados compreendem informação básica necessária para o planejamento, a operação e a otimização dos Sistemas de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. A demanda por dados relativos à geração de resíduos é instrumento presente na maioria das legislações federais referentes ao manejo de resíduos. No Brasil, este instrumento está previsto tanto na Lei Federal do Saneamento Básico (BRASIL, 2007) quanto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), através da incorporação do banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) nas respectivas leis.

O SNIS contém dados desde o ano de 2002, mas a sua inclusão na PNRS e na Lei do Saneamento proporcionou maior adesão ao sistema, numa reação em cadeia, pois o SNIS é alimentado por prestadores de serviço e municípios, sendo que a distribuição de recursos financeiros da união para o saneamento prioriza municípios que possuam o plano de sane-

<sup>13</sup> Trecho reproduzido. Note que semissólido é escrito respeitando-se as regras gramaticais vigentes na ocasião.

amento, conforme estabelecido na Lei Federal. O Plano de Saneamento contempla o diagnóstico da geração de resíduos, e desde então, a alimentação de dados no SNIS aumentou.

Essas informações são de livre acesso, conforme determinam as respectivas leis, e podem ser organizadas sistematicamente a critério do consultante. As informações disponíveis são técnicas e financeiras. Além da base de dados, o SNIS divulga um diagnóstico sobre o manejo de resíduos sólidos.

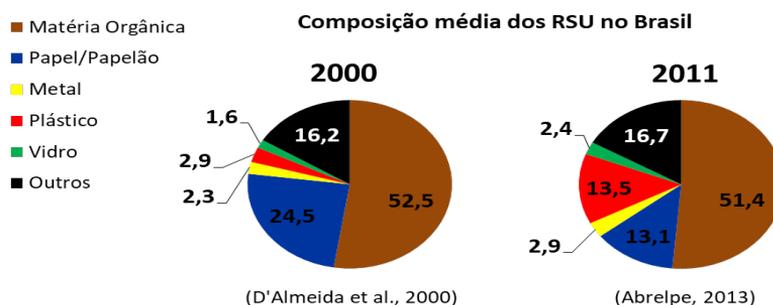
A cada década, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realiza e publica a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, que inclui informações sobre destinação de resíduos sólidos nos municípios. No setor privado, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), também publica anualmente um panorama sobre a situação dos resíduos sólidos no país.

### 6.3.1 Resíduos domiciliares

Os resíduos domiciliares são formados principalmente por resíduos orgânicos, cuja proporção tem sido mantida nos últimos anos, sendo equivalente a aproximadamente metade de todo material descartado (Figura 57). Comparando-se os dados publicados por D’Almeida e Vilhena (2000) e pela ABRELPE (2013), verifica-se que em onze anos, a proporção de plásticos descartados no Brasil aumentou 10,6%. No mundo, a proporção de plásticos nos resíduos domiciliares é de aproximadamente 10%.

Os dados sobre a proporção de papel e metais nos resíduos sugere que o plástico passou a substituir itens que antes eram feitos com esses materiais. Por exemplo, os “enlatados” quase sempre possuem uma versão na embalagem plástica, assim como se tornou frequente os alimentos frescos virem pré-embalados.

Globalmente, a produção de plásticos saltou 0,5 para 260 milhões de toneladas anuais entre a década de 1950 e o final da primeira década de 2000. Outro fator importante é o aumento de informações armazenadas digitalmente, o que reduz a utilização de papel e, conseqüentemente, a quantidade e proporção de papel descartado.



**Figura 57.** Mudança na composição média dos resíduos sólidos urbanos no Brasil entre os anos 2000 e 2011.

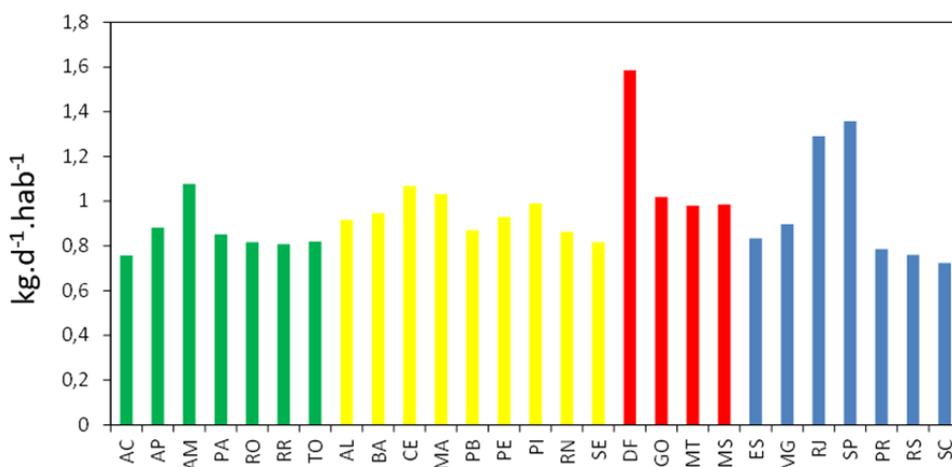
Fonte: Adaptado de D’Almeida e Vilhena, 2000 e ABRELPE, 2013

A quantidade de resíduos produzidos no mundo cresceu, consideravelmente, por muitas décadas, principalmente nos países desenvolvidos. Historicamente, há uma relação entre desenvolvimento econômico e produção de resíduos *per capita*.

No Brasil, há uma forte correlação entre quantidade de resíduos gerados *per capita* e o tamanho da população dos municípios de cada região, ainda assim, em regiões com produto interno bruto *per capita* maior, como no caso do Distrito Federal e Estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Figura 58), as produções são ainda maiores. Por exemplo, em um município de 1 milhão de habitantes localizado na região nordeste a produção *per capita estimada* é de 0,90 kg dia<sup>-1</sup>. Um município da região sudeste com a mesma população, a produção *per capita* estimada é de 0,99 kg (ABRELPE, 2016). Nos Estados Unidos a produção *per capita* média é de 2 kg dia<sup>-1</sup> (EPA, 2011).

O estilo de vida nas cidades está relacionado ao maior consumo de produtos industrializados, que trazem consigo mais embalagens, enquanto a disponibilidade de recursos financeiros está relacionada com o aumento do consumo em geral.

A relação entre aumento na produção de resíduos com o aumento do poder econômico é um dos sintomas que desvincula desenvolvimento econômico de desenvolvimento social e ambiental. Para parâmetros como qualidade de água e do ar e desmatamento, as curvas entre desenvolvimento econômico e esses parâmetros se ajustam ao modelo gaussiano, enquanto as curvas entre desenvolvimento econômico e produção de resíduos e emissões de gases do efeito estufa chegam a ser exponencial (SHAFIK, 1994). Ou seja, parâmetros diretamente relacionados à saúde atingem níveis críticos e melhoram conforme o desenvolvimento econômico da população, mas os parâmetros relacionados ao consumo apenas crescem. No final dos anos 1990 a produção anual de resíduos *per capita* em países desenvolvidos variou de 300 a 800 kg, enquanto nos demais países a quantidade anual *per capita* foi inferior a 200 kg (WARAH, 2001).



**Figura 58.** Produção média de resíduos sólidos urbanos por Estado no ano de 2013.

Fonte: ABRELPE, 2013

### 6.3.2 Resíduos da construção civil

Resíduos da construção civil incluem restos de demolição, restos de pavimentação, embalagens de produtos químicos, material inutilizado como vidro, tijolos e telhas quebrados, madeira e retalhos de tubulações, forros e ferragens. Além desses materiais, de acordo com a Resolução CONAMA 307/2002, são considerados resíduos da construção civil os materiais resultantes da preparação e da escavação de terrenos. De acordo com Tam e Tam (2006), 38% dos resíduos gerados compreendem resíduos da construção civil. O gerenciamento e reaproveitamento de resíduos da construção civil é ferramenta fundamental para a economia de recursos naturais em razão do grande volume gerado. Apesar de serem na sua maioria inertes, alguns resíduos da construção civil apresentam periculosidade ou potencial de causar danos à saúde e ao meio ambiente.

Os resíduos da construção civil podem ser classificados de acordo com a fase de geração, como resíduos de construção, resíduos de reforma e resíduos de demolição (WU *et al.*, 2014), ou de acordo com a sua composição. Atualmente, no Brasil, os resíduos da construção civil são classificados em quatro grupos, de acordo com a resolução CONAMA 307/2002:

- Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados. São exemplos desta classe de resíduos solos provenientes de terraplanagem, restos de reparo de pavimentação, restos de demolição e rejeitos das indústrias de pré-moldados;
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações. São exemplos desta classe de resíduos plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e embalagens vazias de tintas imobiliárias, sendo que essas embalagens foram recentemente reclassificadas, devendo obedecer às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) para a logística reversa, cuja definição está descrita no capítulo 7. Devido ao grande volume de resíduos metálicos gerado nas empresas, eles são definidos como subprodutos e são comercializados, sendo que os resíduos metálicos ferrosos e não-ferrosos são separados para comercialização, uma vez que seus valores comerciais são distintos.
- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação. Considera-se o isopor como resíduo de classe C, que apesar de ser reciclável, não apresenta viabilidade comercial.
- Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção. Os resíduos contendo amianto, também conhecido como asbesto, são o exemplo mais comum de resíduo Classe D. Com produção e comercialização proibida em alguns Estados do país, produtos contendo amianto ainda são comuns nas edificações brasileiras. Outros exemplos são restos de solventes, tintas e óleos, assim como os utensílios e materiais contaminados com tais compostos. Solos contaminados também são classificados como resíduos perigosos, sendo comuns em áreas de refinarias de petróleo e industriais mais antigas.

### 6.3.3 Resíduos de serviços de saúde

Aproximadamente, 85% dos resíduos oriundos dos serviços de saúde são resíduos não perigosos. No entanto, os 15% restantes são compostos de materiais perigosos devido ao potencial infeccioso, toxicidade e radioatividade (WHO, 2015). O gerenciamento desta fração dos resíduos é de extrema importância do ponto de vista sanitário. Por exemplo, no ano de 2009 foi descoberto um esquema de contrabando de resíduos de serviços de saúde que resultou na transmissão de hepatite B para aproximadamente 240 pessoas na Índia, sendo que pelo menos  $\frac{1}{4}$  destas pessoas morreu (SOLBERG, 2009). Apesar de baratos, os materiais descartáveis como seringas e agulhas eram reaproveitados.

No ano de 1987, ocorreu em Goiânia, o pior acidente da história, com uma única fonte radioativa. A falta de gerenciamento resultou no contato e exposição da população à fonte de Césio 137, oriunda de um aparelho desativado de radioterapia. Esse evento resultou na morte de pelo menos 60 pessoas devido à exposição à radiação (OKUNO, 2013).

No Brasil, a regulamentação para gerenciamento dos resíduos do serviço de saúde foi definida pela ANVISA (BRASIL, 2018) e pelo CONAMA (2005a), por meio da Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, alterada pela Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011, que estabelece as condições e padrões para a disposição de efluentes em corpos hídricos receptores. O manejo dos resíduos de serviço de saúde está previsto detalhadamente nestes instrumentos normativos.

A Resolução ANVISA / Diretoria Colegiada (RDC) nº 222, de 28 de março de 2018, que regulamenta as boas práticas de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde, classifica esses resíduos em quatro grupos:

- Grupo A: subdividido de A1 até A5, este grupo é composto por materiais infecciosos. Passíveis de tratamento, alguns desses materiais podem ser convertidos no Grupo D;
- Grupo B: produtos químicos, cuja classificação de periculosidade deve seguir a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) dos materiais;
- Grupo C: rejeitos radioativos. O único tratamento dispensado a rejeitos radioativos é o armazenamento até que o período de decaimento seja atingido. Na área da saúde somente são permitidos materiais cuja vida radioativa seja de até 30 anos. Esses procedimentos devem seguir normas estabelecidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).
- Grupo D: resíduos não perigosos, que podem ser descartados no serviço de coleta urbana ou destinados à reciclagem.

## 6.4 Impactos ocasionados pelos resíduos sólidos

Conforme apresentado no Capítulo 1, poluição pode ser definida como a introdução de substâncias, materiais ou energia no meio ambiente de forma a alterar a relação entre os seres vivos e limitar a utilização dos recursos naturais. A maioria das situações de disposição de resíduos, regulares ou não, causam algum tipo de poluição.

### 6.4.1 Poluição do solo causada por resíduos sólidos

A forma de disposição dos resíduos é caracterizada por diferentes níveis de controle de poluição, passando pelos lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Os lixões, conforme descrição no item 6.3.1. são caracterizados pela simples descarga dos resíduos sobre o solo e, portanto, não incluem medidas de proteção contra poluição ou proteção à saúde pública. A ausência de qualquer controle na disposição de resíduos nos lixões resulta na mistura de diversos tipos de resíduos, inclusive perigosos, de origem industrial, e hospitalares despejados ilegalmente.

Os aterros controlados e sanitários, descritos adiante, são formas manejadas de disposição de resíduos, sendo que os aterros controlados não apresentam drenagem e tratamento de chorume e biogás. Ainda que com manejo, os aterros estão sujeitos a receber materiais perigosos tanto de origem doméstica quanto industrial.

A recuperação das áreas degradadas por lixões requer a remoção dos resíduos, assim como do solo contaminado, com posterior disposição desses materiais em aterro sanitário. No entanto, em razão dos custos envolvidos no procedimento, somado ao fato de não haver um único responsável pelo depósito irregular de resíduos, a remediação das áreas de lixões é economicamente inviável. Desta forma, vários autores sugerem que, quando possível, áreas degradadas com lixões sejam convertidas em aterros sanitários. Essa conversão mitigaria os efeitos danosos dos lixões ao incluir procedimentos de impermeabilização, cobertura, tratamento de efluentes e monitoramento ambiental.

Os principais poluentes do solo relacionados ao descarte de resíduos são os metais pesados, uma vez que são tóxicos e permanecem no solo indefinidamente. No sistema, os metais podem entrar na cadeia alimentar após absorção pelas plantas ou podem ser carregados pelo chorume até os corpos hídricos, representando risco tanto a saúde ambiental quanto humana. Os riscos à saúde são maiores quando há exposição da população ao chumbo, cádmio, mercúrio e arsênio, mas outros metais pesados também estão presentes nos resíduos.

A seguir, são listados alguns materiais que podem ser fonte de contaminação de metais pesados:

- Restos de madeiras: arsênio ainda é utilizado para a preservação de madeira, que também inclui grande diversidade de preservativos orgânicos;
- Pilhas e baterias: sais de cádmio e chumbo são utilizados em baterias. As baterias de produtos eletrônicos modernos têm sido substituídas por baterias de lítio. No entanto, produtos contrabandeados e baterias automotivas ainda são manufaturados com metais pesados. Os metais nesses componentes estão na forma disponível, solúvel, o que aumenta o potencial de contaminação;
- Componentes eletrônicos: contém grande variedade de metais na sua composição. De acordo com Lim e Schoenung (2010), televisores, monitores e computadores, tanto obsoletos quanto modernos contêm até 1 kg de metal pesado por unidade, principalmente chumbo. Televisores de tubo também aproximadamente 100 mg de cádmio, enquanto os dispositivos modernos contêm dezenas de mg de arsênio;
- PVC: cádmio é utilizado como estabilizador de PVC em altas concentrações.

A poluição do solo também pode estar relacionada com a deposição de poluentes resultantes da queima de resíduos e até mesmo de processos de reciclagem irregulares.

Até recentemente, a China recebia aproximadamente 70% dos resíduos de materiais eletrônicos produzidos no mundo. Dentre os métodos utilizados para a recuperação de metais desses resíduos está a simples queima e a solubilização ácida, sendo que esses métodos de processamento de resíduos eletrônicos estão relacionados ao aumento das concentrações no solo de chumbo, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), bifenilas policloradas (BPCs) e outros compostos orgânicos persistentes halogenados.

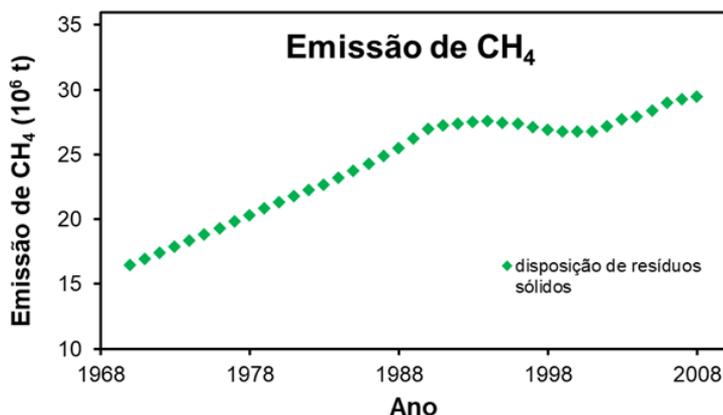
O aumento das concentrações desses compostos ocorre tanto pela disposição irregular de resíduos quanto pela deposição de efluentes gasosos e aerossóis. Grande parte dessas áreas contaminadas é utilizada para a agricultura, aumentando o risco de exposição humana aos contaminantes.

## 6.4.2 Poluição do ar

### 6.4.2.1 Metano - CH<sub>4</sub>

O gás Metano (CH<sub>4</sub>) é o produzido nos processos de digestão anaeróbia da matéria orgânica biodegradável que está presente nos resíduos sólidos urbanos. A Figura 59 mostra a evolução da emissão mundial de CH<sub>4</sub> derivada de processos de destinação de resíduos sólidos. Atrás apenas do CO<sub>2</sub>, o metano é o segundo gás mais relevante para o aquecimento global, com potencial de aquecimento 34 vezes superior ao do CO<sub>2</sub>.

Grande parte dos aterros sanitários modernos tem sido projetada para a captação de biogás através da cobertura, vedação e instalação de coletores. Como resultado, as emissões de CH<sub>4</sub> a partir de aterros sanitários deixaram de crescer linearmente a partir da década de 1990, conforme mostra a Figura 59, mas ainda representam aproximadamente 8% das emissões totais de CH<sub>4</sub>. Com o sistema de drenagem e coleta, a eficiência dos aterros em coletar o biogás é de aproximadamente 70%.



**Figura 59.** Emissão mundial de CH<sub>4</sub> derivada de processos de destinação de resíduos sólidos.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados obtidos de EDGAR4-DATABASE, 2009

O biogás produzido em aterros sanitários contém aproximadamente 50% de  $\text{CH}_4$ . Com exceção das grandes instalações, para ser economicamente viável, o uso do biogás de aterros não pode requerer purificação. A purificação requer a retirada de uma série de compostos, incluindo água,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e hidrocarbonetos halogenados. São exemplos de usos sem purificação, a alimentação de cimenteiras e caldeiras em geral. O uso purificado inclui o abastecimento de automóveis. O potencial econômico do biogás em aterros é de aproximadamente 10 anos. No entanto, a produção residual de  $\text{CH}_4$  perdura por décadas.

Os projetos de aproveitamento de biogás no Brasil têm sido inseridos nos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) previstos no Protocolo de Quioto, do qual o país é signatário. Os MDLs permitem que os projetos de redução de emissões realizados em países em desenvolvimento possam ser utilizados pelos países desenvolvidos, com a finalidade de atingirem suas metas de redução de emissões.

Neste caso, a redução das emissões se dá através da conversão do  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$ , que apresenta potencial de aquecimento global (PAG) menor, e pelo aproveitamento energético durante a queima. De acordo com a base de dados da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) têm sido negociadas por empreendimentos localizados em diversos Estados brasileiros com a Holanda, Suíça, Reino Unido, Japão, Alemanha, Canadá e Espanha.

### 6.4.2.2 Queima de resíduos sólidos

A queimada é prática primitiva utilizada na agricultura para promover a “limpeza” das áreas para o plantio. A cultura da queima de resíduos foi transferida para os resíduos sólidos urbanos (RSU) e permanece como prática comum em áreas onde a coleta e tratamento de resíduos não atende a demanda da população.

Se anteriormente resíduos vegetais eram queimados, a queima passou a incluir plásticos, pneus e, mais recentemente, produtos eletrônicos. A queima a céu aberto de resíduos está relacionada com a liberação de grandes quantidades de compostos perigosos, incluindo compostos mutagênicos, genotóxicos, carcinogênicos e interferentes endócrinos.

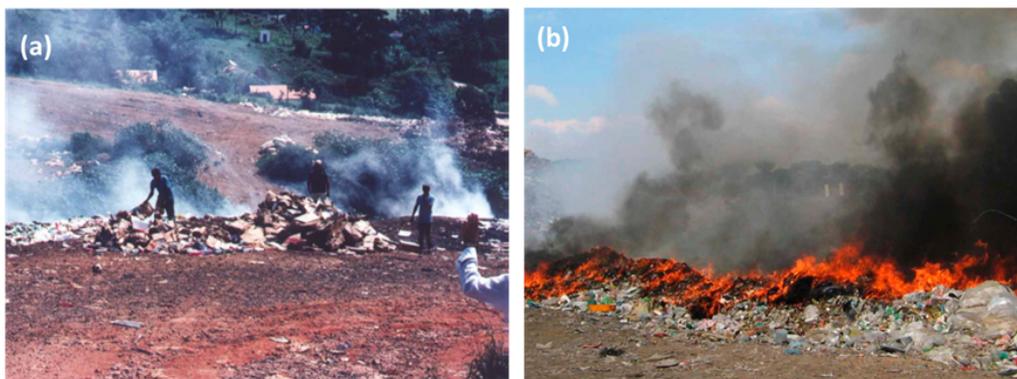
Fato agravante é a queima usualmente ser realizada próxima a residências e locais públicos, aumentando a exposição da população a esses compostos. Desta forma, apesar de relativamente comum, a queima a céu aberto de resíduos é considerada crime de acordo com a Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998), uma vez que esta lei estabelece que “é crime causar poluição, de qualquer natureza, em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora”.

A queima aberta de resíduos, conforme mostra a Figura 60, resulta em produtos perigosos gasosos e particulados, na forma de aerossóis. Muitos dos compostos tóxicos também se ligam a essas partículas, aumentando o potencial de dano à saúde. O material particulado carregando esses compostos pode tanto obstruir progressivamente as vias respiratórias quanto entra no sistema sanguíneo após inalação.

Muitos desses compostos são lipossolúveis e persistentes. Os principais compostos são monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais (THCs), compostos orgânicos voláteis

(COVs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), bifenilas policloradas (BPCs), clorobenzenos (CBs), policloro-dibenzofuranos (PCDF), dibenzodioxinas policloradas (PCDD), aldeídos, ácido clorídrico (HCl) e metais.

Estima-se que a queima a céu aberto de resíduos resulte na emissão anual de 6 a 9 Tg de HCl. Compostos altamente tóxicos como os halogenados são emitidos na escala de g por kg de resíduo. Dentre os HAPs, são subprodutos da queima de resíduos compostos interferentes endócrinos os ftalatos e bisfenol A (SIDHU *et al.*, 2005). Esses compostos são reconhecidos pela sua capacidade de ação em quantidades traço, ressaltando-se que a exposição pré-natal a pequenas concentrações de BPCs pode interferir no desenvolvimento do feto, incluindo alterações nos sistemas nervoso, endócrino, imunológico e reprodutor, ou mesmo resultar em aborto.



**Figura 60.** Queima aberta de resíduos.

Fonte: (a) Beli *et al.*, 2005; (b) Wiedinmyer *et al.*, 2014

### 6.4.3 Poluição da água causada por resíduos sólidos

A disposição de resíduos é uma das principais ameaças para a manutenção da qualidade dos corpos hídricos, sendo considerada a maior fonte de poluição de águas subterrâneas. Os resíduos depositados tanto em aterros quanto em lixões produzem lixiviados que podem contaminar o lençol freático e escoar para os mananciais.

Esse lixiviado, que equivocadamente costuma ser chamado de chorume, é formado pela umidade contida no resíduo, pela água da chuva que percola o resíduo depositado, por eventuais infiltrações de água nas células do aterro e pelo chorume propriamente dito, que é o líquido resultante da decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos, salientando que, conforme apresentado no item 6.3.1., aproximadamente 50% da composição dos resíduos produzidos nas cidades é matéria orgânica.

Em áreas de disposição sem drenagem de águas pluviais, a água da chuva se soma ao chorume, proporcionando grande variação na composição e em volume tanto sazonalmente

quanto espacialmente, dificultando seu manejo. Os efeitos do chorume sobre a qualidade dos corpos hídricos dependem principalmente da sua composição.

O chorume contém grande quantidade de matéria orgânica, nitrogênio na forma amoniacal, metais pesados, compostos organoclorados e sais dissolvidos. Apesar da grande variabilidade e toxicidade, processos biológicos normalmente são empregados para o tratamento de lixiviados de aterros e os padrões de lançamento são os mesmos dos demais efluentes, regulamentados pela Resolução CONAMA 430/2011. Essa resolução também prevê o tratamento de chorume em sistemas de tratamento de efluentes sanitários (CONAMA, 2011).

A contaminação dos corpos hídricos com lixiviados de aterros e lixões pode representar risco a população e limitar a disponibilidade de água. Quanto mais próximos dos locais de disposição de resíduos, maior será a vulnerabilidade dos corpos hídricos à contaminação.

Um importante instrumento de controle da poluição é o monitoramento dos corpos d'água. Em áreas próximas a locais de disposição de resíduos, conforme estudos existentes, verificou-se na água o aumento de carbono orgânico solúvel, além de bactérias do grupo dos coliformes, sais, e metais, principalmente ferro reduzido e zinco (MOR *et al.*, 2006). Em casos extremos, conforme aponta Kale *et al.* (2010), a proximidade com a área de disposição de resíduos provocou um aumento acima dos valores permitidos dos níveis de níquel, cromo, cádmio e chumbo, em amostras de analisadas na água. Os autores atribuíram esses resultados à ocorrência de descarte de baterias no local.

No Brasil, aproximadamente 92% das cidades brasileiras têm coleta de lixo, mas só 59% usam aterros adequados, ou seja, o restante dos municípios ainda dispõe os resíduos em lixões e aterros controlados (ABRELPE, 2019). Além dos pequenos municípios, grandes lixões de regiões metropolitanas também compõem esta estatística. Um dos lixões que traduzam o risco de contaminação da água é o lixão de Águas Lindas, que fica a três quilômetros da barragem do rio Descoberto, no Distrito Federal. Também no Distrito Federal, o lixão da Estrutural operado por sessenta anos e desativado apenas no início de 2018, também oferece risco para os corpos d'água.

Se por um lado, o maior risco de contaminação da água se dá pelos subprodutos da degradação dos resíduos no solo, nos corpos hídricos a recalcitrância dos materiais é a causa do acúmulo de rejeitos nas águas continentais e oceânicas. Os detritos dispostos tanto no continente quanto diretamente nos oceanos são compostos principalmente de plástico, madeira, metal e outros produtos manufaturados. No entanto, a maioria absoluta se refere aos plásticos, que compõem de 60 a 80% dos detritos acumulados nas águas (RIOS *et al.*, 2007).

O tempo de residência dos plásticos no meio ambiente usualmente ultrapassa a escala dos séculos. Por exemplo, o polietileno, polímero simples e amplamente utilizado no cotidiano teria tempo de degradação estimado de aproximadamente 300 anos (OHTAKE *et al.*, 1998). Desta forma, os plásticos despejados nos cursos d'água continentais eventualmente vão parar nos oceanos. Como resultado, 80% dos rejeitos contidos nos oceanos provem de descartes realizados no continente e os demais 20% são despejados diretamente (RAMIREZ-LLODRA *et al.*, 2011).

Estima-se que aproximadamente 8 milhões de toneladas de plásticos terminem nos oceanos anualmente (JAMBECK *et al.*, 2015). Nesse ambiente, os rejeitos recirculam influen-

ciados pelas correntes marítimas e se acumulam em regiões onde as correntes marinhas formam moinhos. A área que concentra a maior quantidade de rejeitos nos oceanos se encontra no oceano Pacífico, entre os estados americanos do Havaí e Califórnia. A região, descoberta apenas no ano de 1997, concentra aproximadamente 100 mil toneladas de plásticos em uma área 1,6 milhões de km<sup>2</sup> (LEBRETON *et al.*, 2018). Esses rejeitos podem servir como meio de transporte para espécies exóticas ao redor do globo terrestre (BARNES, 2002) e ser ingeridos pela fauna. Resíduos plásticos têm sido observados no trato intestinal de mais de 690 espécies de organismos de diferentes níveis tróficos (CARBERY *et al.*, 2018).

#### 6.4.4 Poluição visual causada por Resíduos Sólidos

O termo poluição visual está associado à aglomeração de elementos repulsivos na paisagem, tais como uma praia com alta densidade de lixo (Figura 61) ou depósitos de rejeitos irregulares (Figura 62) ou regulares. Esse é um fato peculiar desse tipo de poluição, uma vez que a poluição visual não está necessariamente relacionada com dano ambiental, embora na maioria das vezes esteja relacionada com outros tipos de poluição. Poluição visual, assim como odor desagradável, é impacto difícil de ser mensurado e, portanto, não entra nas análises de ciclo de vida de produtos<sup>14</sup>. É um tipo de poluição cujos impactos variam de pessoa para pessoa.

Em áreas públicas, vários métodos de quantificação da poluição visual têm sido propostos, por exemplo, considerando a densidade de rejeitos dispostos (ARAÚJO e COSTA, 2007). A depender da densidade de rejeitos, seria necessária a adoção de medidas reparadoras ou mitigadoras de impacto. Em áreas de disposição de resíduos, o desconforto visual atinge níveis críticos e, portanto, poluição visual é considerada um impacto ambiental no gerenciamento de resíduos sólidos. Como impacto, também definido na Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA (BRASIL, 1981), poluição visual deve ser considerada nas etapas de licenciamento ambiental com a apresentação de medidas de mitigação de impacto. Dentre as medidas mitigadoras estão ações de paisagismo e implantação de cercas vivas, assim como a recomposição da vegetação superficial a partir do fechamento das células do aterro.

A Organização Mundial da Saúde define que pessoas que têm uma paisagem poluída no seu cotidiano aumentam em 40% as chances de sofrer de depressão que pessoas que têm uma paisagem poluída no seu cotidiano aumentam em 40% as chances de sofrer de depressão. Outro efeito na saúde seria a perda do senso de higiene e estética, o que resultaria em problemas de saúde derivados da falta de cuidado pessoal e convívio com vetores.

---

14 O termo “ciclo de vida” do produto: série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final (BRASIL, 2010). Na análise do ciclo de vida, procura-se determinar e quantificar todas as extrações de recursos e emissões para o ambiente desde o “nascimento” até a “morte”, do “berço” ao “túmulo” (“from cradle to grave”), visando identificar os potenciais impactos nos recursos naturais, no ambiente e na saúde humana. Disponível em: [<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/jvf/Gest%C3%A3o%20Ambiental%20-%20An%C3%A1lise%20de%20Ciclo%20de%20Vida.pdf>]. Acesso em: 10 jul. 2019.

A poluição visual pode ser considerada supérflua em países em desenvolvimento, uma vez que se torna difícil quantificar os efeitos de paisagens alteradas e há prioridades mais latentes. No entanto, em países desenvolvidos, como no Reino Unido, as preocupações da população foram elencadas de forma que o acesso a áreas cênicas seria mais prioritário do que as condições econômicas (PARKER, 1990).



**Figura 61.** Resíduos na praia.

Extraído de: Araújo e Costa, 2007

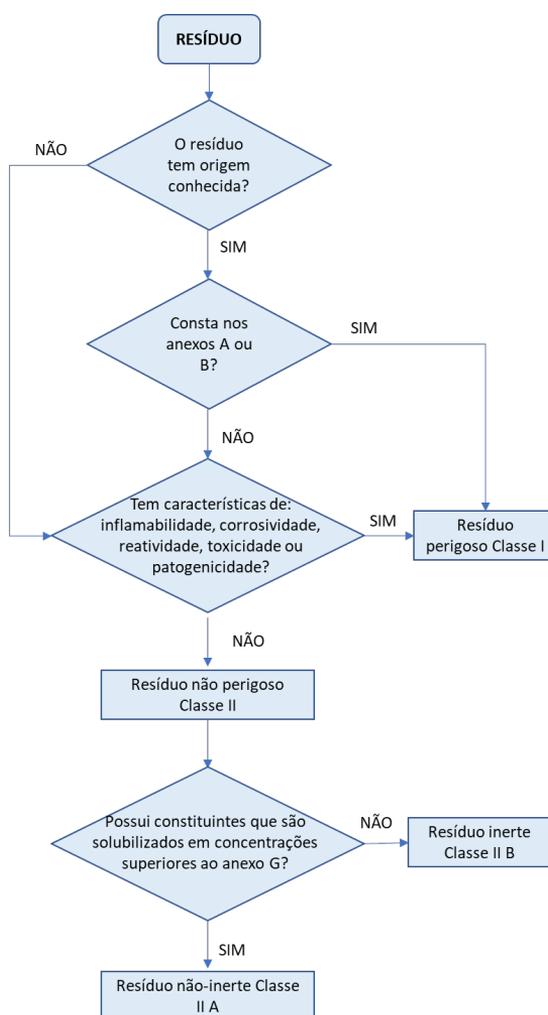


**Figura 62.** Disposição irregular de resíduos sólidos.

Foto: Leonardo Machado Pitombo

## 6.5 Classificação dos resíduos sólidos

O instrumento atual que descreve os procedimentos para classificação de resíduos sólidos no Brasil é a norma ABNT NBR 10.004:2004. São exceções previstas nesta norma, os resíduos radioativos, que devem seguir normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e os resíduos dos serviços de saúde (item 6.2.3.) (ABNT, 2004). Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos: perigosos e não perigosos, sendo este último grupo subdividido em resíduos não inertes e inertes. De acordo com a Norma, os critérios de classificação são baseados na origem e composição dos resíduos, conforme ilustrado no fluxograma apresentado na Figura 63.



**Figura 63.** Fluxograma para classificação de resíduos sólidos de acordo com a NBR 10004/2004.

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de ABNT, 2004

Quando a origem e composição são desconhecidos, torna-se necessário realizar a caracterização dos resíduos por meio de ensaios para avaliar a sua periculosidade. Estes procedimentos devem seguir normas auxiliares. Estas normas auxiliares descrevem os procedimentos de amostragem e análises dos resíduos. A amostragem é etapa preponderante para a adequada caracterização, uma vez que os resíduos sólidos muitas vezes não apresentam composição homogênea.

O processo de classificação dos resíduos sólidos é concluído mediante a expedição de um laudo de classificação, que deve ser elaborado por responsáveis técnicos habilitados. Neste laudo devem constar a origem do resíduo, descrição do processo de segregação e descrição do critério adotado na escolha de parâmetros analisados, quando for o caso.

Para os resíduos previamente classificados como perigosos, não é necessário realizar ensaios de caracterização. Esses resíduos estão listados nos Anexos A e B da norma ABNT NBR 10.004:2004, sendo o Anexo A referente aos resíduos perigosos de fontes não específicas, e o Anexo B corresponde aos resíduos perigosos de fontes específicas.

### 6.5.1 Resíduos Classe I ou perigosos

Um resíduo será considerado perigoso quando apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; também será perigoso, no caso de risco ao meio ambiente, quando for gerenciado de forma inadequada. Rejeitos com características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade serão considerados resíduos perigosos

Quando se trata de inflamabilidade, inclui-se tanto a capacidade do resíduo de entrar em combustão facilmente, quanto o potencial do resíduo em liberar compostos oxidantes que possam estimular a combustão, agindo como comburente. Tipicamente, resíduos inflamáveis são os que apresentam temperatura de fulgor abaixo de 60°C ou podem causar fogo se submetidos a condições específicas.

Corrosividade talvez seja a característica de periculosidade mais objetiva de se determinar. Esta característica faz referência ao pH e à capacidade do lixiviado do resíduo em corroer aço. Neste caso, extração do lixiviado dos resíduos é realizada através de ensaio padronizado, conforme a norma ABNT NBR 10.005:2004.

Resíduos que são perigosos devido a reatividade podem ser instáveis quando submetidos a condições normais de pressão e temperatura, podem reagir com água, podem liberar gases, vapores tóxicos e causar explosões. Não há ensaios específicos para a determinação da reatividade dos resíduos e, portanto, esta seria a característica mais subjetiva de classificação de resíduos sólidos com origem desconhecida. Outro fator que dificulta o enquadramento dos resíduos com esta característica é a falta de associação entre os parâmetros para a determinação da reatividade. Os resíduos de origem conhecida normalmente são de produtos e processos controlados pelas Forças Armadas do Brasil e polícias federal e civil. São exemplos os materiais utilizados para produção de itens pirotécnicos e explosivos, e processos que incluem geração ou utilização de cianetos.

O enquadramento dos resíduos no parâmetro toxicidade é bastante objetivo. Baseia-se na presença qualitativa ou quantitativa de compostos reconhecidamente tóxicos no lixiviado líquido ou gasoso dos resíduos. A presença não precisa ser verificada analiticamente, por exemplo, no caso de embalagens de produtos tóxicos e no caso de seus derramamentos. Esses compostos são em sua maioria metais pesados e compostos orgânicos persistentes. Caso a determinação química do lixiviado seja inviável, a norma prevê o uso de ensaios biológicos com organismos-teste.

Um resíduo é caracterizado como patogênico quando contiver ou se houver suspeita de conter microrganismos patogênicos, proteínas virais, ácidos nucleicos, toxinas ou organismos geneticamente modificados capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais. Neste caso, o caráter patogênico pode se sobrepor ao caráter tóxico quando se tratar de doença crônica não infecciosa. Os resíduos com potencial infeccioso podem sofrer tratamento e perder a característica de patogenicidade no próprio local de geração, evitando-se a exposição da população durante o transporte. São exemplos, laboratórios acadêmicos de ensino e pesquisa, que tratam seus resíduos biológicos e posteriormente os descartam como resíduo comum.

O tratamento e a destinação ambientalmente adequados dos resíduos sólidos perigosos dependem das características do resíduo. Por exemplo, resíduos essencialmente orgânicos podem ser incinerados, propiciando expressiva redução de volume e das propriedades de periculosidade do resíduo. Resíduos com poder calorífico alto podem ser coprocessados em usinas de produção de cimento. Por outro lado, a incineração dos resíduos inorgânicos, como telhas contendo amianto, não exerceria nenhum efeito sobre a periculosidade do resíduo. Caso não haja alternativa tecnicamente viável de tratamento e reciclagem do resíduo, como última alternativa, tem-se a utilização de aterros especiais para resíduos Classe I, que exigem maior controle do que os aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos. Por exemplo, aterros Classe I exigem impermeabilização mais rigorosa e, enquanto abertas, as células devem permanecer cobertas. Deve-se enfatizar que a terceirização de serviços de coleta, armazenamento, transporte, tratamento ou destinação final de resíduos não isenta de responsabilidade o gerador pelos eventuais danos ambientais futuros. Resíduos perigosos aterrados serão um passivo ambiental para o gerador do resíduo.

### 6.5.2 Resíduos Classe II A ou não inertes

Os resíduos não inertes são caracterizados pelo seu potencial em causar dano à saúde e ao meio ambiente. Tecnicamente, são os resíduos que não são enquadrados como sendo Classe I ou Classe II B. Os resíduos não inertes podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou alteram as propriedades químicas da água depois simples contato, mas prolongado, seguindo os procedimentos da norma ABNT NBR 10.006:2004. Essa diferenciação dos resíduos não perigosos é peculiar da norma brasileira. Resíduos nessa classificação merecem a mesma cautela para tratamento e destinação final aplicados aos resíduos Classe I.

O exemplo mais expressivo de resíduo não inerte são os pneus inservíveis, que apresentam teores de metais solúveis superiores aos limites estabelecidos para os resíduos inertes. Outro parâmetro que poderia classificá-lo como não inerte seria a sua combustibilidade. A destinação de pneus deve seguir legislação específica, que inclui o instrumento de logística reversa regulamentada pela Resolução CONAMA 416/2009 e cuja fiscalização cabe ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

### 6.5.3 Resíduos Classe II B ou inertes

Resíduos inertes são os resíduos do cotidiano, que não apresentam risco direto iminente à saúde pública e ao meio ambiente. Tecnicamente, são os resíduos que submetidos ao contato com água não têm seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos valores estabelecidos na norma ABNT NBR 10.004:2004. Cabem às municipalidades o tratamento e a destinação de resíduos sólidos urbanos, assim como deve ser para os grandes geradores.

## 6.6 Sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos

O gerenciamento de resíduos sólidos é reconhecidamente o maior problema ambiental dos países em desenvolvimento, em especial em centros urbanos. Os principais desafios são o rápido aumento da densidade populacional, o aumento da produção *per capita* de resíduos, a segregação inadequada de resíduos orgânicos, recicláveis e resíduos perigosos, assim como a falta de espaço disponível para transferência e tratamento.

No Brasil, a PNRS foi o principal instrumento para a promoção de melhorias na cobertura e qualidade da coleta e tratamento de resíduos sólidos urbanos. A PNRS agrega princípios modernos para o gerenciamento de resíduos sólidos. Dentre esses princípios estão o de poluidor-pagador, o de protetor-recebedor e o de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

O sistema básico de gerenciamento de resíduos sólidos é formado pelas ações de acondicionamento, coleta, transporte, transbordo, tratamento e disposição de resíduos. Num sistema ideal, conforme estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, levam-se em conta esses princípios modernos, estando previstas ações visando a não geração, redução, reutilização, coleta, reciclagem, o tratamento e, quando necessário, a disposição final dos resíduos.

A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) atribui aos municípios a responsabilidade pelos serviços de limpeza urbana e gestão de resíduos, desde a coleta até a destinação final. Porém, foi a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, lei publicada em 2010, que estabeleceu as diretrizes gerais aplicáveis a nível nacional a fim de orientar os Estados e Municípios e definir de forma clara as responsabilidades relativas ao gerenciamento de resíduos de cada unidade da federação e dos geradores de resíduos. A PNRS (BRASIL,

2010), enfatiza que sob o controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais, cabe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios. Os serviços que abrangem o gerenciamento de resíduos sólidos consomem grande parte do orçamento dos municípios, podendo atingir até 20% dos seus gastos totais (IBGE, 2010).

### 6.6.1 Acondicionamento

O acondicionamento dos resíduos é procedimento que os prepara para a coleta. Este procedimento deve ser realizado de forma sanitariamente adequada e ser compatível com a estrutura de coleta, o tipo e a quantidade de resíduos a serem dispostos (MONTEIRO *et al.*, 2001).

O acondicionamento adequado reduz o risco de acidentes durante a coleta, por exemplo, de materiais perfuro-cortantes, ou risco ergonômico; evita a proliferação de vetores, como moscas, mosquitos e roedores; minimiza a proliferação de odores; e facilita na etapa da coleta. Alguns municípios atualmente contam com sistema de coleta mecanizado e, portanto, o tipo de contêiner de armazenamento deve ser compatível com o maquinário. No caso de coleta seletiva, a cor dos contêineres deve seguir a carta de cores da Resolução CONAMA 275/2001 para orientar no acondicionamento dos resíduos e na sua coleta.

O acondicionamento é etapa fundamental do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos e por estar no início do processo vai impactar todo o sistema. Esta etapa é altamente dependente do gerador e, portanto, alguns instrumentos se tornam necessários para promover a segregação correta dos resíduos.

Existem vários mecanismos para orientar o gerenciamento de resíduos sólidos. Por exemplo, no município de Santos, localizado no litoral paulista, passou a vigorar em meados do ano de 2017, uma lei que disciplina o gerenciamento de resíduos sólidos no município. Nesta lei está prevista a aplicação de multas no caso de segregação inadequada de resíduos, tanto por pessoas físicas quanto jurídicas. O principal objetivo desta seção da lei é evitar a mistura de resíduos secos com resíduos orgânicos, o que diminui a vida útil do aterro municipal.

Apesar de parecer rigorosa, esta prática é bastante comum em países desenvolvidos onde os custos do gerenciamento de resíduos são mais elevados. Por exemplo, no município de Wageningen, região central da Holanda, são disponibilizados quatro contêineres por residência para que sejam separados: (I) resíduos orgânicos; (II) materiais não recicláveis; (III) plásticos, metais e embalagens denominadas longa vida; e (IV) papel. Os contêineres para vidro, plásticos e outros materiais recicláveis estão dispostos ao longo do município. Os vidros devem ser separados por cor: incolor, verde ou marrom. Conforme disponibilizado na página do município na internet<sup>15</sup>, a coleta de material orgânico ocorre a cada duas semanas, enquanto papel e materiais não recicláveis são apenas coletados a cada três semanas.

15 [[https://www.wageningen.nl/english/waste\\_collection](https://www.wageningen.nl/english/waste_collection)] Acesso em: 30 abr. 2018.

Ao contrário dos RSU, cujo acondicionamento é regulamentado por legislação municipal, os Resíduos do Serviço de Saúde devem seguir a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 306/2004 do Ministério da Saúde. Esses resíduos, separados conforme descrito no item 6.2.3., devem ser armazenados em embalagens cuja resistência siga padrões definidos em norma técnica, no caso, a NBR 9.191:2008, e identificados de acordo com o grupo a que pertencem, de “A” a “E”. Nesses grupos estão os resíduos perfurocortantes, infectantes e radioativos.

A norma técnica NBR 12.809:2013 (ABNT, 2013) descreve os procedimentos para manuseio de resíduos de serviços de saúde e um de seus aspectos mais importantes refere-se à necessidade de treinamento e habilitação a todos que manuseiam os resíduos. A norma descreve, por exemplo, que os recipientes de armazenamento devem ser fechados quando 2/3 de sua capacidade tiverem sido atingidos, que os sacos devem ser amarrados com o excesso de ar removido sem exposição ao fluxo de ar produzido e que, após o fechamento, o recipiente deve ser imediatamente retirado da unidade geradora para área de armazenamento.

Nos estabelecimentos de serviços de saúde o acondicionamento temporário deve ser realizado em sala específica para tal fim. Esta sala deve possuir lavatório, iluminação (ponto de luz), ventilação proporcional à área da sala, piso e paredes laváveis, de material liso e resistente ao tráfego dos contêineres de resíduos. O acondicionamento externo, próximo ao ponto de coleta, deve ser realizado em abrigo seguindo padrões semelhantes ao da sala de acondicionamento interno.

Dos riscos à saúde relacionados ao acondicionamento inadequado de resíduos destacam-se a proliferação de vetores. O mosquito *Aedes aegypti*, vetor de uma série de doenças, se reproduz na água parada, destacando-se a água contida nos resíduos, podendo ser em uma casca de ovo ou num pneu. Roedores são transmissores de doenças como leptospirose e hantavírus, além de abrigar pulgas que podem transmitir doenças, como peste bubônica e tifo murino. Resíduos podem servir de alimento aos pombos, que também hospedam pulgas, e suas fezes podem transmitir infecções como histoplasmose e criptococose. Esta última pode atingir o sistema nervoso e levar ao óbito. Os resíduos do serviço de saúde podem abrigar baratas e formigas, que são importantes transmissores de infecções hospitalares.

### 6.6.2 Coleta

Baseando-se no princípio de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, um instrumento importante contido na PNRS é o da logística reversa. Por este instrumento, os fabricantes e importadores de produtos potencialmente poluidores específicos, são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa. Após o uso pelos consumidores, produtos como embalagens de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, lubrificantes, lâmpadas e produtos eletrônicos devem ser coletados pelos fabricantes e importadores de forma independente do serviço público de limpeza e de gerenciamento dos resíduos sólidos. Esse instrumento, além de evitar os possíveis danos ao meio ambiente resultantes da disposição inadequada, viabiliza a reciclagem e reutilização dos produtos.

No caso de RSU, ainda que as responsabilidades sejam claras, a cobertura da coleta de resíduos não é integral. De acordo com dados da ABRELPE sobre a coleta de resíduos, conforme observado na Figura 58, o Estado do Maranhão, que teria o pior índice de coleta, aproximadamente 59% do resíduo produzido havia sido coletado no ano de 2013. O Distrito Federal e Estados da região sudeste teriam os melhores índices de coleta, próximos a 100%. Os resíduos não coletados são invariavelmente depositados em terrenos, cursos d'água ou queimados, causando riscos à saúde e ao meio ambiente.

Assim como a cobertura de coleta, outros fatores que corroboram para o sucesso desta etapa do gerenciamento de resíduos são a frequência e a regularidade com que a coleta é efetuada. Quanto menor o tempo de exposição dos materiais nas ruas, menor será a chance de que as embalagens sejam violadas por animais.

A frequência da coleta corresponde ao tempo decorrido entre duas coletas consecutivas num mesmo local ou região, podendo ser diária, ou em dias alternados, com folga aos domingos, por exemplo. A frequência de coleta impacta diretamente no custo total dos serviços. A regularidade da coleta está relacionada à passagem dos veículos coletores de forma regular, nos locais, dias e horários estabelecidos.

Eventualmente, aumentar a frequência de coleta pode reduzir a quantidade de resíduos despejados no ambiente, principalmente em áreas suburbanas e rurais. No entanto, esta não deve ser uma estratégia isolada, uma vez que os custos de coleta e transporte consomem aproximadamente metade dos recursos do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

A frequência de coleta pode ser reduzida se as condições de acondicionamento forem adequadas e, principalmente, se o resíduo úmido for separado do resíduo seco. No entanto, ao contrário do exemplo apresentado sobre o município holandês no item 6.5.1., onde a coleta é realizada com frequência quinzenal ou a cada três semanas, por razões climáticas, a coleta não deve ter frequência inferior à semanal. Monteiro *et al.* (2001) indicam que em regiões com alta densidade populacional a coleta deveria ser diária para evitar-se o acúmulo de resíduos nos domicílios.

Os grandes geradores, definidos na legislação municipal que disciplina o gerenciamento de resíduos sólidos, são responsáveis pela coleta e destinação de seus resíduos e devem contratar serviço para tal finalidade. Na maioria dos municípios são considerados grandes geradores, os estabelecimentos que produzem mais de 200 litros de resíduos por dia, como no caso das cidades de São Paulo, Campinas, Santos e Brasília. No município do Rio de Janeiro considera-se grande gerador o estabelecimento que gere mais de 120 litros por contribuinte, e no município de Salvador estabelecimentos que produzam mais de 300 litros diários.

### 6.6.3 Transporte

Independentemente do tipo e periculosidade dos resíduos, o seu transporte requer um plano de controle de resíduos a fim de evitar o seu extravio e, conseqüentemente dano ambiental e à saúde, em razão da destinação inadequada.

O plano de controle de resíduos usualmente conta com registros de entrada e saída de resíduos, nome da empresa e detalhes do veículo de transporte, informações sobre o gerador e destinatário e características qualitativas e quantitativas do resíduo.

O contrabando de resíduos é prática que visa obter vantagens financeiras, uma vez que o tratamento e destinação dos resíduos são bastante dispendiosos. Esse tipo de contrabando ocorre tanto em escala regional quanto. Em outros casos, o despejo irregular entre o local de retirada e o destino, ocorre para a simples economia no transporte.

### 6.6.3.1 Transporte de resíduos sólidos urbanos domésticos

A efetiva coleta dos RSU domésticos é realizada por guarnições, que possuem roteiro definido. Nas grandes cidades, os veículos de coleta são caminhões compactadores, com a finalidade de aumentar o volume coletado por viagem e reduzir o volume depositado nos aterros. O adequado é que esses caminhões retenham o chorume produzido pelos resíduos para evitar a proliferação de odores e insetos. Nas cidades menores é comum o uso de caminhões abertos ou mesmo tratores auxiliando no serviço de coleta.

Em regiões metropolitanas, o trânsito e a distância entre os locais de coleta e de tratamento impõem planejamento para aumentar a eficiência do uso de maquinário e recursos humanos. Esses dois fatores são responsáveis pelo atraso nos roteiros de coletas, o que aumenta a exposição dos resíduos nas ruas; aumenta o tempo improdutivo da guarnição de trabalhadores; aumenta o custo de transporte; e reduz a produtividade dos caminhões de coleta, que são veículos especiais e onerosos.

Para reduzir os efeitos do trânsito e da distância sobre o transporte de resíduos urbanos domésticos são adotadas estações de transbordo na logística do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Estas estações de transbordo são recomendadas quando a distância entre o local de coleta e destino são superiores a 25 km.

Existem dois tipos de estação: a de transbordo direto, quando o material coletado é transferido para veículos com maior capacidade de carga; e estações com armazenamento, quando o resíduo é depositado em galpões. Ambos os tipos de estações de transbordo podem contar ou não com etapas de compactação dos resíduos. Eventualmente, a estação de transbordo pode conter uma estação de triagem, quando se tratar de resíduos essencialmente recicláveis.

A instalação de estações de transbordo é passível de licenciamento ambiental. A instalação e operação dessas instalações requer avaliação dos impactos no trânsito local e dos riscos de poluição e contaminação ambiental. Para tanto, torna-se necessário o delineamento de um plano de monitoramento ambiental que leve em consideração poluição sonora, águas subterrâneas e superficiais.

Nas estações de transbordo, os cuidados de acondicionamento devem ser rigorosos a fim de evitar a proliferação de vetores e contaminação do solo e da água. No caso de estações de armazenamento torna-se necessário a realização de impermeabilização e tratamento de lixiviados. Essas estações também devem contar com ações de prevenção à colonização desses vetores, como dedetização e desratização. O ambiente de transbordo deve ser limpo com frequência a fim de evitar o acúmulo de detritos que venham a cair fora das caçambas ou galpões de transbordo.

### 6.6.3.2 Transporte de resíduos de serviços de saúde

A depender do grupo do resíduo produzido pelo estabelecimento de serviço de saúde conforme o item 6.2.3., o resíduo do serviço de saúde poderá ser adicionado ao resíduo comum ou encaminhado para tratamento, no caso de resíduo perigoso.

O transporte deste material é dividido em duas etapas: interna e externa. O transporte interno, no estabelecimento gerador, deve seguir procedimento de acordo com as suas necessidades relativas à frequência e ao horário; e seguir os procedimentos da norma para manuseio de resíduos de serviços de saúde (NBR 12.809:2013). O transporte interno de resíduos deve ser planejado a seguir o menor percurso, sempre no mesmo sentido, sem provocar ruídos e evitando coincidência com o fluxo de pessoas, alimentos, roupa limpa, medicamentos e outros materiais que entrem em contato com o público (ABNT, 2013).

Após a coleta, os procedimentos de transporte externo devem seguir tanto as normas de manuseio de resíduos de serviços de saúde quanto às normas de coleta de resíduos de serviços de saúde (NBR 12.810:2020) e de transporte de resíduos perigosos (NBR 7.501:2021).

A norma NBR 12810:2020 descreve os equipamentos de proteção individual (EPIs) necessários, uniforme e as características que o veículo para realizar o transporte deve apresentar (ABNT, 2020). A norma NBR 7.501:2021 é aplicável a todos os resíduos perigosos e, portanto, faz referência a procedimentos que devem ser entendidos por pessoas não qualificadas na área da saúde. Esta norma específica, por exemplo, que o material deve ser acompanhado de ficha de emergência para transporte de resíduos perigosos que contenham informações sobre o resíduo e as ações a serem tomadas em caso de acidente (ABNT, 2021).

## 6.6.4 Métodos de tratamento de resíduos sólidos

### 6.6.4.1 Reciclagem

Reciclagem de resíduos é uma das estratégias ambientalmente adequadas para lidar com a problemática dos resíduos sólidos, seguida das estratégias de redução na geração e reúso. Essas três estratégias, popularizadas como 3Rs, “Reduzir, Reutilizar e Reciclar”, propiciam a economia de recursos naturais e reduzem a quantidade de resíduos depositados no ambiente.

De acordo com os conceitos atuais de gerenciamento de resíduos sólidos, resíduos devem ser tratados como subprodutos para propiciar benefícios ambientais, financeiros e sociais. No entanto, a própria reciclagem pode expor a população a riscos à saúde, principalmente quando a recuperação de matéria prima dos resíduos inclui a atuação de agentes do setor informal, sem suporte à segurança ocupacional. Nos países em desenvolvimento, o setor informal é o responsável primário pelas ações de reciclagem e redução do volume de resíduos destinado ao tratamento final.

Os trabalhadores do setor de gerenciamento de resíduos sólidos em países em desenvolvimento estão envolvidos em diversas atividades, que incluem contato manual com os resíduos, desde a segregação, coleta, transporte, triagem, processamento e disposição final.

O manuseio de resíduos sólidos está relacionado com a exposição ocupacional a uma série de riscos a saúde, uma vez que este contato expõe esta comunidade a compostos químicos, vetores e a microrganismos com potencial infeccioso. Estes riscos certamente são mais proeminentes nas etapas de triagem de materiais recicláveis. Profissionais que manipulam resíduos sólidos urbanos têm 1,5 vezes mais chances de sofrer de doenças ocupacionais do que os demais trabalhadores. A maioria dessas doenças está relacionada com a via fecal-oral. Por exemplo, um estudo realizado no Egito apontou que metade dos 346 trabalhadores do município que trabalham com resíduos sólidos urbanos e participaram do estudo apresentava infecção por alguma espécie de helminto (EASSA *et al.*, 2016).

A mais intrigante associação entre manipuladores de resíduos e problemas de saúde é maior ocorrência de infecções pelo vírus da hepatite B nesse grupo, independentemente do tipo de resíduo manipulado. Embora o vírus esteja presente apenas no sangue e em fluidos corporais, a maior ocorrência de hepatite B nesses profissionais é atribuída à alta persistência do vírus no ambiente e baixa dose necessária para causar infecção (MOL *et al.*, 2017).

Resíduos sólidos urbanos contêm curativos usados, lâminas, agulhas, vidros e outros materiais perfuro-cortantes que podem veicular hepatite B. Por este motivo a Sociedade Brasileira de Imunização<sup>16</sup> (SBI) recomenda para profissionais que lidam com dejetos, águas contaminadas e lixo a imunização contra o vírus da Hepatite B. A SBI também recomenda a esses trabalhadores a imunização contra hepatite A e febre tifoide, que diferentemente da Hepatite B, são doenças de veiculação hídrica.

Conforme apresentado no item 6.3.1., a reciclagem irregular de resíduos tem sido relacionada com a poluição do solo e contaminação de áreas agrícolas na China. Para evitar impactos ambientais e de saúde pública, a partir desde 1º de janeiro de 2018, a China passou a não importar uma série de resíduos recicláveis agrupados em quatro categorias: plásticos, papel não triado, escória de certos minérios e refugos têxteis. Até então, o país era destino de mais da metade dos resíduos de papel, metais e plásticos exportados mundialmente. No Brasil, a PNRS proíbe a “importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, bem como de resíduos sólidos cujas características causem dano ao meio ambiente, à saúde pública e animal e à sanidade vegetal, ainda que para tratamento, reforma, reúso, reutilização ou recuperação”. Desta forma, a importação de materiais recicláveis é passível de interpretação e traz consigo o perigo do contrabando de resíduos perigosos.

### 6.6.4.2 Compostagem

Compostagem é um processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos, de origem animal e vegetal, pela ação de microrganismos. Para a ocorrência do processo não é necessário adicionar componentes físicos ou químicos, no entanto o manejo proporciona aceleração do processo e a obtenção de um subproduto com maior teor de nutrientes.

Enquanto resíduos orgânicos armazenados produzem odor e atraem vetores, mas sob condições específicas, submetidos ao processo de compostagem, resultam em um produto que pode melhorar aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (HARGREAVES *et al.*, 2008).

16 [<https://sbim.org.br/images/calendarios/calend-sbim-ocupacional.pdf>] Acesso em: 10 dez. 2022.

Compostagem é um importante elemento para a sustentabilidade no gerenciamento de resíduos sólidos por transformar os resíduos em subproduto material passível de ser descartado no ambiente. Esta forma de tratamento tem papel fundamental no aumento da vida útil dos aterros sanitários, uma vez que metade dos resíduos sólidos urbanos são resíduos orgânicos, passíveis de compostagem.

Outros aspectos relacionados com a sustentabilidade estão no fato de que grande parte dos nutrientes exportados do solo retorna para o campo na forma de um condicionador orgânico, denominado composto. Por outro lado, a matéria orgânica contida nesses resíduos é substrato para a metanogênese e conseqüente emissão de grandes quantidades de gases do efeito estufa.

A qualidade do material compostado depende de diversos fatores, incluindo o desenho da composteira, a qualidade do resíduo orgânico e proporção, o procedimento de compostagem e o grau de maturação do composto. Dentre os métodos adotados de compostagem destacam-se a compostagem termofílica e a vermicompostagem.

O processo termofílico é mais recomendado para resíduos de múltiplas origens e grandes quantidades, uma vez que as altas temperaturas proporcionam a eliminação de patógenos e reduzem a viabilidade das sementes de ervas daninhas.

Para início do processo de compostagem misturam-se proporções de materiais popularmente denominados como verde e marrom. O material verde corresponde aos resíduos úmidos e putrescíveis, como restos de alimentos e lodo de esgoto. Esse material tem baixa relação de massa entre carbono e nitrogênio (C:N), menor do que 10. O material marrom, são os restos de jardinagem e serragem, por exemplo, que são ricos em celulose e lignina. Esses materiais têm alta relação C:N, que comumente passam de 100, e melhoram a estrutura e aeração da mistura a ser compostada.

Normalmente, a pilha de compostagem ideal é formada da mistura desses dois grupos de materiais a fim de se obter uma relação C:N inicial próxima a 30. O processo é tecnicamente separado em quatro fases: fase inicial, fase termofílica, fase mesofílica e fase de maturação ou humificação.

Na fase inicial, a alta disponibilidade de nutrientes e oxigênio propicia o rápido crescimento microbiano de bactérias e há liberação de calor. A partir de 40°C tem-se o início da fase termofílica, cuja temperatura ideal não ultrapassa os 60°C para evitar a eliminação de microrganismos benéficos à fase seguinte. Na fase mesofílica, a biomassa predominante passa a ser mais diversa, predominando fungos, bactérias e protozoários. Nesta fase ainda há maior disponibilidade de C do que de N. Na fase final, de maturação, a disponibilidade de C e N se torna equivalente, próximo a 10. Nesta etapa o composto está apto a ser utilizado como condicionador de solo.

Para garantir a aeração durante o processo, em larga escala, torna-se necessária a movimentação das pilhas de compostagem. Na vermicompostagem as minhocas fazem o papel de promover o revolvimento do material e a microbiota presente no trato digestivo desses organismos auxilia nos processos de remoção de patógenos e humificação.

O processo de compostagem pode ser realizado desde a escala doméstica à industrial, incluindo a vermicompostagem. O conceito de compostagem em larga escala de resíduos

sólidos urbanos teria sido originado em 1929, na Holanda, com a implantação de uma unidade de compostagem em escala apta a receber resíduos de vários municípios. No entanto, a partir da década de 1970 a quantidade de material misturado passou a ser um problema, nesta e em outras grandes unidades de compostagem na Europa (BERTOLDI,1999).

De fato, a segregação adequada dos resíduos orgânicos continua sendo o principal desafio para a reciclagem deste e de outros tipos de resíduos. A implantação de legislação em prol da segregação adequada de resíduos urbanos, conforme apontam alguns autores, seria o fator propulsor para estimular o desenvolvimento da compostagem em larga escala.

No Brasil, conforme apresentado no item 6.5.1., tem-se o exemplo praticado em Santos, onde passou a vigorar no município, a partir de meados de 2017, lei que prevê aplicação de multas a pessoas físicas e jurídicas que não separem resíduos orgânicos de recicláveis, lodos de esgoto e resíduos industriais orgânicos que também podem ser reciclados pelo processo de compostagem em larga escala.

### 6.6.4.3 Incineração

Na estrutura do manejo integrado de RSU, a incineração é uma opção válida para redução do volume a ser aterrado. Embora tecnicamente aceitável, a prática não abrange o princípio de uso racional dos recursos naturais, pois, além do potencial para poluição do ar e solo, na maioria das vezes a incineração desestimula a redução, reúso e reciclagem de resíduos. No caso de resíduos perigosos, incineração talvez seja a melhor opção, uma vez que realiza a estabilização do material e reduz o volume do passivo ambiental.

Dois tipos de efluentes são preocupantes nas plantas de incineração de resíduos: as cinzas remanescentes e os efluentes gasosos. Estações de tratamento de resíduos por incineração estão sujeitas a liberar os mesmos compostos da queima a céu aberto (item 6.3.2.), quando não há o devido tratamento de efluentes gasosos e monitoramento. As cinzas, por sua vez, possuem altas concentrações de metais pesados, que podem ser extraídos por solubilização ácida e estabilizados fisicamente por cimentação ou aterramento das cinzas.

A utilização da incineração como método de tratamento de resíduos normalmente é limitada pelo alto custo de operação, conforme descrito a seguir. Em países subdesenvolvidos incineração não é comum devido a limitações de investimento, técnicas e operacionais, como alta umidade dos resíduos e porcentagem de materiais inertes. Em países em desenvolvimento considera-se que a incineração é uma opção de tratamento, mas os custos ainda tornam este método economicamente inviável e frequentemente o controle da poluição do ar não é eficiente. Em países desenvolvidos a incineração é frequente em regiões cujo custo da terra é elevado ou com indisponibilidade de área para aterro. Nestes países as emissões gasosas são regulamentadas e realiza-se o aproveitamento energético da queima. Ainda assim, esta metodologia de tratamento tem custo pelo menos três vezes mais elevado do que o aterramento.

### 6.6.5 Disposição final

O conceito disposição final implica que os resíduos permanecerão armazenados até a sua completa degradação, o que para grande parte dos resíduos pode não ocorrer. A disposição

final não se restringe a resíduos sólidos urbanos, mas também se aplica à grande parte dos resíduos industriais. Em ambos os casos, o local de disposição pode ser considerado um passivo ambiental baseando-se no princípio do poluidor-pagador. A PNMA estabelece que “é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade”. Neste caso, ainda que o gerador do resíduo tenha contratado terceiros para realizar a disposição final do resíduo, ele continua a ser responsável pelo seu gerenciamento e prevenção à poluição.

No caso dos municípios ainda não se estabeleceu um caminho jurídico para responsabilizar os seus administradores. No entanto, a PNRS prevê a restrição de recursos federais aos municípios que não elaborem e não atendam as metas dos respectivos planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

De acordo com a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, no ano de 2008, a maioria absoluta dos municípios ainda descartava seus resíduos sólidos urbanos em lixões (50,8%), seguidos de aterro sanitário (27,7%) e aterros controlados (22,5%). Apesar de preocupante, a publicação destaca a evolução da redução das áreas de lixões, que no ano 2000 era alternativa adotada em 72,3% dos municípios brasileiros. As regiões norte e nordeste apresentaram 89,3% e 85,5% de municípios que adotavam lixões no ano de 2008, respectivamente. Na região sul e sudeste esta proporção era de 15,8% e 18,7%, respectivamente. Em alguns estados, como o Estado do Piaí, 97,8% dos resíduos sólidos urbanos eram destinados a lixões no mesmo ano. A seguir, são descritas as formas adotadas de disposição final de resíduos (IBGE, 2008).

### 6.6.5.1 Lixões

Os lixões, também denominados vazadouros a céu aberto, são caracterizados pela simples descarga de resíduos sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Conforme apresentado anteriormente, a disposição inadequada de resíduos traz riscos de contaminação da água (item 6.3.3.) e do solo (item 6.3.1.) e riscos diretos e indiretos à saúde humana.

Os riscos diretos são aqueles atribuídos ao manuseio dos resíduos, como infecções e lesões, e os indiretos são os resultados da contaminação da água e do solo ou proliferação de vetores. Apesar de inadequado e ilegal, este “método” de destinação de resíduos ainda é prática na maioria dos municípios brasileiros.

### 6.6.5.2 Aterros controlados

Aterros controlados são métodos de disposição intermediários entre os lixões e aterros sanitários. Apresentam melhorias em relação ao lixão, mas estas melhorias ainda não são suficientes para proteger o meio ambiente. Embora não recebam impermeabilização do solo, aterros controlados podem ser instalados em áreas com características que minimizariam a chance de contaminação do lençol freático. Os aterros controlados não necessariamente recebem sistema de dispersão de gases e de tratamento do chorume gerado e, por vezes, o acesso não é controlado, o que aumenta o risco de descarte de resíduos perigosos.

Ao final do preenchimento das células ou valas, os aterros controlados recebem uma camada impermeabilizante de argila e normalmente realiza-se o plantio de grama. Por se tratar de áreas aparentemente sem uso, lembrando sua finalidade de estabilização de resíduos, estas estão sujeitas à ocupação irregular e exposição dos ocupantes ao risco de incêndios, explosões e desabamentos. A degradação anaeróbia dos resíduos orgânicos proporciona o acúmulo de  $\text{CH}_4$  e aumento da porosidade, o que levaria a esses riscos.

### 6.6.5.3 Aterros sanitários

Aterros sanitários são empreendimentos que requerem licenciamento ambiental para instalação, operação e encerramento. Objetivando acelerar o processo licitatório de aterros sanitários de pequeno porte, foi estabelecido um procedimento simplificado de acordo com a Resolução CONAMA 404/2008. Considerando o interesse público dos aterros sanitários, a simplificação proposta na Resolução isenta da obrigatoriedade de realização de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), que são as etapas que incluem a participação popular. Ainda assim, o órgão ambiental licenciador pode solicitar a elaboração do EIA/RIMA caso julgue necessário.

De acordo com a norma técnica NBR 13.896:1997, as condições necessárias para os aterros serem considerados aterros sanitários, incluem impermeabilização de base e laterais; recobrimento diário dos resíduos para evitar percolação de água da chuva e proliferação de vetores e aves; cobertura final das plataformas de resíduos; coleta e drenagem de lixiviados; coleta e tratamentos dos gases; drenagem superficial; tratamento de lixiviados; monitoramento ambiental; e controle de acesso e entrada de resíduos.

De acordo com a mesma norma, os aterros devem ser planejados para terem vida útil mínima de 10 anos, enquanto a resolução CONAMA 404/2008 prevê vida útil mínima de 15 anos para aprovação do licenciamento simplificado. O monitoramento das águas superficiais, por sua vez, deve ser realizado por um período mínimo de 20 anos após o encerramento das atividades do empreendimento.

Estudos comparativos sobre métodos ambientalmente adequados de destinação final de resíduos sólidos urbanos apontam que o aterramento ainda é a alternativa economicamente mais viável em países em desenvolvimento. Associado às vantagens econômicas, o aterramento proporciona a decomposição controlada de resíduos até sua estabilização. Após encerramento das atividades, as áreas de aterro podem ser convertidas em áreas de lazer e centros comunitários.

### 6.6.5.4 Aterros sanitários em valas

Ao contrário dos aterros sanitários convencionais, os aterros sanitários em valas são instalados abaixo do nível original do terreno. Esta técnica consiste no preenchimento de valas escavadas com dimensões apropriadas, onde os resíduos são depositados sem compactação e a sua cobertura com terra é realizada manualmente.

Esta modalidade de destinação de RSU é uma exceção para viabilizar a destinação de resíduos de forma tecnicamente adequada em pequenos municípios, uma vez que o maquinário requerido para operação de aterros sanitários é oneroso e inadequado para operação

de pequenas unidades. Nos aterros em valas o maquinário é imprescindível apenas na fase de abertura das valas.

No Estado de São Paulo, esta técnica é recomendada apenas para comunidades cuja produção de resíduos não ultrapasse 10 toneladas por dia. Outros estados do país aceitam o emprego de técnicas semelhantes em municípios com população de até 20 mil habitantes.

A escavação de valas exige condições geológicas favoráveis para a escavação e manutenção das valas. Para a sua implantação alguns requisitos devem ser atendidos, especialmente em relação ao local do empreendimento, que deve apresentar condições favoráveis no que se refere à profundidade e uso do lençol freático, bem como na constituição do solo. Os terrenos com lençol freático aflorante ou muito próximo da superfície são impróprios para a construção desses aterros, uma vez que possibilitam a contaminação dos aquíferos. Os terrenos rochosos também não são indicados devido às dificuldades de escavação (BOCCHIGLIERI, 2010).

Outro fator limitante para a sua implantação são os solos excessivamente arenosos, já que estes não apresentam coesão suficiente, causando o desmoronamento das paredes das valas. A operação desses aterros também está sujeita ao atendimento de alguns requisitos básicos, tais como o nivelamento e a cobertura diária dos resíduos (BOCCHIGLIERI, 2010).

No Estado de São Paulo, a possibilidade de optar por sistemas simplificados de disposição final de resíduos permitiu aos municípios uma evolução gradativa nas condições ambientais dessas instalações, uma vez que a partir da aceitação pela agência ambiental dessas práticas simplificadas, foi possível a abertura de linhas de financiamento para esses empreendimentos.

### 6.7 Resíduos oriundos dos serviços de saneamento – Lodos

No Brasil, 46% dos esgotos gerados são tratados<sup>17</sup> e somente 21 municípios nas 100 maiores cidades do país tratam mais de 80% dos esgotos<sup>18</sup>. De acordo com as metas para gestão dos serviços de saneamento básico estabelecidas no Plano Nacional de Saneamento Básico, o desafio da universalização considera a disponibilização dos serviços de saneamento, em todo o território nacional, até 2033.

O atendimento a essa meta, considerando a implantação de estações de tratamento de água e de esgotos, vai promover um expressivo aumento da quantidade de lodo gerado por esses sistemas. A destinação final desses resíduos será um dos grandes problemas ambientais a ser enfrentados nos próximos anos.

Na operação dos sistemas de tratamento de esgoto gera-se um resíduo (lodo) predominantemente orgânico, cujo custo para disposição final em aterros pode representar em torno de 50 a 60% dos custos operacionais da ETE.

---

<sup>17</sup> Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS 2018

<sup>18</sup> Disponível em: [<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>] Acesso em: 10 mar. 2020.

Já os lodos de estações de tratamento de água (ETA) geralmente são compostos por minerais e pequena quantidade de matéria orgânica removidos da água bruta, adicionados de produtos químicos coagulantes. Os principais compostos utilizados para coagulação são sais de alumínio e ferro, assim como compostos adjuvantes para coagulação, que usualmente são polímeros sintéticos. De acordo com ACHON *et al.* (2013), a maioria das ETAs brasileiras (7.000) descarta os lodos em cursos d'água, o que compromete a qualidade dos corpos hídricos.

A Política Nacional de Resíduos Hídricos (PNRH) prevê a possibilidade de outorga para utilização de corpos hídricos para diluição, transporte e disposição final de resíduos líquidos ou gasosos. No entanto, a escassez de água inviabiliza tal concessão, pois a PNRH estabelece que a prioridade de uso dos recursos hídricos em situações de escassez é o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997). Ressalta-se que o lodo gerado pelos serviços de saneamento é classificado como resíduo sólido, conforme apresentado no item 6.1, mesmo contendo baixo teor de sólidos. Por exemplo, o lodo adensado de uma ETE possui em torno de 5% de sólidos e o lodo de ETA, contém mais de 95% de água. Portanto, os novos projetos de estações de tratamento devem contemplar o tratamento e a destinação final do lodo, e nas estações antigas em operação que não possuem solução para o lodo, devem ser buscadas alternativas para o equacionamento desse passivo ambiental.

Uma das preocupações em relação ao lançamento de lodo em corpos d'água são os potenciais impactos à comunidade aquática, destacando-se a comunidade bentônica, uma vez que esse lodo tende a sedimentar. No contexto atual, conforme mencionado, a demanda por alternativas de tratamento e disposição desse tipo de resíduo tem crescido no Brasil.

Estudos mencionam que a maioria das ETAs não mede a quantidade de lodo produzida, ressaltando tal informação é importante para o gerenciamento desses resíduos e para subsidiar pesquisas sobre alternativas de utilização e tratamento desses resíduos.

Recentemente, como resultado do aumento da densidade demográfica nas regiões metropolitanas e escassez de recursos hídricos, as bacias hidrográficas passaram a ser consideradas a unidade de gerenciamento desses recursos, sendo administradas por Comitês de Bacias Hidrográficas, que são compostos por representantes do estado, dos usuários e da sociedade civil. Essas organizações, têm possibilitado a destinação dos recursos oriundos da cobrança pelo uso da água para a implantação de novas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) nessas regiões.

### 6.7.1 Destinação final de lodo: aspectos legais, tecnológicos e de segurança operacional

A destinação final adequada de lodos de ETA e ETE é um problema emergente no Brasil e em outros países em desenvolvimento. Essa condição se justifica, conforme mencionado, pelos esforços estarem concentrados para o fornecimento de serviços básicos de saneamento, especialmente o suprimento de água tratada e a coleta e tratamento de esgotos.

Os processos de tratamento de água e esgoto removem impurezas da água bruta e de efluentes, que são concentradas na forma de lodo de ETA e lodo de ETE, respectivamente. Apesar das impurezas estarem concentradas, o volume gerado em ambos os sistemas é bastante grande. Em média, estima-se que lodos de esgoto representem em média de 1% a 2% do volume total do esgoto tratado. Coincidentemente, o volume de lodo de ETA é de aproximadamente 2% do volume de água bruta tratada.

Os lodos de ETA são materiais que apresentam baixo teor de sólidos, na faixa de 1 a 5%, enquanto os lodos de esgoto alcançam, aproximadamente, 30% de sólidos após o desaguamento.

Existem vários processos e equipamentos para estabilizar e desaguar o lodo de ETE, que são eficientes e aplicáveis em larga escala. Quanto aos lodos de ETA, são bastante difíceis de serem secos sem a utilização de temperatura. Processos de desaguamento em escala piloto têm alcançado aproximadamente 20% de sólidos. Esta característica seria a principal limitante para o seu tratamento, utilização e destinação, associada ao grande volume gerado.

Além do volume elevado e das características peculiares do lodo, outro fator de implicação para destinação final é a geração contínua dos resíduos. Esse fator exige a disponibilidade de múltiplas alternativas para destinação. Por exemplo, caso haja uma única alternativa de disposição e se alguma eventualidade a torne subitamente indisponível, os resíduos se acumularão na origem e poderão causar sérias limitações aos sistemas de tratamento de água ou de esgoto como um todo, o que chamam na linguagem operacional de “gargalos” no tratamento.

A ausência de alternativas também inflaciona os custos de contratação de serviços pela regra básica de mercado relacionada à oferta e demanda de produtos e serviços. Invariavelmente, estes custos são repassados ao consumidor final, que paga pelos serviços de tratamento de água e esgoto.

No contexto ideal, os resíduos devem ser trabalhados como subprodutos, com valor agregado para o mercado e de fácil negociação, por exemplo, nos casos em que o lodo de esgoto produzido é compostado e comercializado como condicionador de solo. Ainda assim, alternativas para destinação final devem estar disponíveis no caso de uma eventual flutuação de mercado, oscilação na qualidade do lodo de esgoto ou mudança de legislação.

Os processos de tratamento têm papel fundamental na viabilidade de múltiplas alternativas de uso e destinação dos resíduos. Quanto menos restritivos forem os requisitos de qualidade dos subprodutos, maior será a diversidade de alternativas disponíveis.

Como exemplo, podem ser mencionados os lodos de ETA que usam sais de alumínio como floculante, que podem influenciar negativamente as propriedades físicas dos produtos cerâmicos, em comparação aos lodos gerados em processos de floculação a base de sais de ferro ou polímeros. Além disso, os sais de alumínio podem ser tóxicos para as plantas, impedindo o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção de nutrientes e água. Assim, uma eventual substituição do floculante poderia viabilizar duas alternativas para a destinação de lodos de ETA, ou seja, a utilização na mistura para produção de produtos cerâmicos e a disposição em solos, embora a tendência observada atualmente para o aproveitamento do lodo de ETA não esteja voltada para o uso agrícola, conforme será comentado adiante.

Analogamente, ETEs que tratam simultaneamente esgotos de origem residencial, com características domésticas, efluentes industriais e lixiviados de aterros sanitários terão maior restrição para a utilização agrícola do lodo, quando comparadas às ETEs que realizam o tratamento de efluentes com característica essencialmente doméstica.

Estudos desenvolvidos no Estado de São Paulo apontam que o processamento dos lodos de ETA na indústria cerâmica consiste num cenário promissor para a sua destinação, seja pela viabilidade técnica e ambiental, seja pela capacidade de aproveitamento de elevadas quantidades de lodo pelas cerâmicas (PAGANINI, 2009).

Do mesmo modo, outras formas de destinação de lodo de ETA foram estudadas e algumas têm se mostrado igualmente adequadas, como o seu emprego para fechamento de valas e para a recuperação de áreas degradadas.

O que não falta ao homem é criatividade e capacidade para o desenvolvimento de novas tecnologias. Assim, são muitas as possibilidades para a destinação final de lodos. A adoção e viabilização de múltiplas alternativas se justifica pelo fato de que é necessário evitar situações de dependência tecnológica, estratégica ou logística, fatores de alto risco em qualquer atividade, especialmente na prestação de serviços públicos de saneamento, onde a geração de lodo é diária e elevada. Deste modo, a operação segura dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário requer alternativas múltiplas disponíveis para a destinação dos lodos gerados. A dependência de um único setor ou de uma única alternativa é um risco indesejável para as operadoras dos sistemas de saneamento (PAGANINI, 2009).

Conforme mencionado, as novas plantas de tratamento devem possuir unidades específicas para o processamento do lodo, e no caso das ETAs em operação, a busca de solução para o lodo pode não ser tarefa simples. Caso típico são as ETAs que apresentam limitações de espaço para a realização do tratamento do lodo na própria planta, restando a opção de transportar o lodo para tratamento em outro local. A forma usual seria transportar o lodo por caminhões até os locais de tratamento. Entretanto, com o crescimento das cidades, algumas estações acabaram por se tornar confinadas no espaço urbano, de tal modo que a circulação de caminhões no entorno das estações não é uma opção.

Nesses casos, a alternativa seria a destinação para uma ETE, via rede. Essa possibilidade é assunto polêmico, pois alguns autores defendem que o lodo de ETA, por se tratar de um material predominantemente inorgânico, não é degradado na ETE, o que confere a esse procedimento a característica de transferência e não de disposição final do resíduo (PAGANINI, 2009).

Questiona-se, ainda, o fato de que o lodo é concentrado na ETA, diluído no sistema de coleta e interceptação e novamente concentrado na ETE. É fato. Mas num cenário altamente urbanizado, como em regiões metropolitanas e nos grandes centros, essa prática pode ser a melhor alternativa, mesmo considerando os possíveis inconvenientes mencionados. A condição teórica ideal seria o lançamento direto na fase sólida das ETEs, mas não há estrutura implantada para o transporte exclusivo do lodo até esse ponto. A execução de obras desse porte também pode causar impactos ambientais de grandes proporções (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2011).

Há vários aspectos positivos a se considerar nos processos de tratamento do lodo de ETA em ETE, como a possibilidade de redução do consumo de materiais de tratamento para o de-

saguamento do lodo; aumento na remoção de matéria orgânica no decantador primário, aumentando a capacidade da ETE na fase secundária; minimização de investimentos e custos operacionais; aproveitamento da mão de obra especializada na operação de ETEs e, efetivo aumento na eficiência de remoção de fósforo total pela ETE, conforme estudos nessa área, o que pode representar um ganho ambiental significativo (PAGANINI, 2009).

Vale lembrar, ainda, que a Lei Estadual 12.300/2006 (São Paulo) classifica os lodos de ETA e ETE como resíduos sólidos industriais, proibindo seu lançamento em sistemas de redes de esgotos, medida que pode inviabilizar a destinação dos lodos provenientes das estações de tratamento de água para tratamento em uma estação de tratamento de esgotos (PAGANINI, 2009).

Para viabilizar o transporte do lodo em conformidade com a legislação vigente, é necessário conceber redes exclusivas para essa finalidade, os “lododutos”, que interliguem a fonte geradora, não às redes coletoras, mas até o sistema de interceptação de esgotos. Além disso, é necessário realizar uma avaliação específica para verificar a capacidade de suporte da estação receptora dessas cargas adicionais provenientes do lodo, bem como as condições do sistema de transporte em relação à deposição de sólidos ao longo do interceptor. Esses estudos fornecem informações fundamentais para a operação dos sistemas, e também podem subsidiar a avaliação pelos órgãos competentes no processo de concessão das autorizações e licenças ambientais necessárias.

De forma análoga ao lodo de ETA, existem projetos para exportação de lodo de esgoto para tratamento em outra ETE, dotada da infraestrutura necessária para o recebimento dessa carga adicional.

### 6.7.2 Usos benéficos

De acordo com a Directiva-Quadro sobre Resíduos do Parlamento Europeu, certos resíduos devem deixar de ser considerados como tal quando passarem por um processo de recuperação que possibilite sua utilização e reciclagem, mediante o atendimento de critérios de qualidade específicos, em função da destinação. Dentre estes, o material deve ser comumente utilizado para determinado fim; deve haver mercado ou demanda de uso; seu uso respeita critérios técnicos e padrões pré-existentes de qualidade; e o uso do material não causará impactos ambientais. Os usos benéficos de resíduos do saneamento ainda são incipientes, mas com o desenvolvimento de técnicas de reúso e melhoria dos métodos de tratamento esses materiais poderão ser amplamente considerados como subprodutos. A seguir são apresentados os usos mais promissores.

#### 6.7.2.1 Geração de energia

Digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, incluindo lodos de esgotos e a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, é uma alternativa para estabilização biológica, redução da carga orgânica e ainda produção de biogás. O subproduto da biodigestão é ainda um valioso produto que pode ser utilizado como fertilizante orgânico, reduzindo o volume de resíduos

destinados a aterros sanitários. Biodigestão consiste da decomposição de materiais orgânicos fermentáveis em meio anaeróbio. Alguns tipos de materiais precisam sofrer pré-tratamento para aumentar a biodisponibilidade de substrato. Como exemplo tem-se os lodos ativados, cujos flocos produzidos pela microbiota aeróbia diminuem a área superficial disponível para os organismos metanogênicos (VAN LIER *et al.*, 2001). Para aumentar a eficiência de biodigestores também é alternativa realizar a co-digestão de materiais com diferentes composições, como lodos de esgoto e resíduos orgânicos domésticos (SOSNOWSKI *et al.*, 2003) ou resíduos de matadouros (LUSTE e LUOSTARINEN, 2010). O produto da biodigestão é uma mistura de gases, predominando  $\text{CH}_4$  e  $\text{H}_2\text{S}$ . Por se tratar de uma biodigestão controlada a mistura de gases é menos complexa do que a mistura de gases de aterros sanitários. Ainda assim a mistura precisa ser purificada para viabilizar o uso do biogás.

A utilização de biodigestores em países de clima tropical como o Brasil seria facilitada pelo clima. Reatores anaeróbios normalmente são operados em condições mesofílicas ( $30^\circ\text{C}$  a  $40^\circ\text{C}$ ) ou termofílicas moderadas ( $50^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ ) (VAN LIER *et al.*, 2001). Reatores termofílicos (até  $80^\circ\text{C}$ ) também produzem biogás, tendo como vantagem a remoção mais eficiente de patógenos (LUSTE e LUOSTARINEN, 2010), mas são mais instáveis em razão da produção de compostos tóxicos para o processo, como  $\text{NH}_3$  (VAN LIER *et al.*, 2001). Em climas mais frios o balanço energético de biodigestores é reduzido pela alta necessidade de aquecimento no sistema, assim como o processo ocorre mais lentamente. Ainda que promissora em razão da demanda por fontes de energia renovável, a implantação de biodigestores é uma técnica que exige grandes investimentos quando comparada com outras formas de tratamento ou destinação de efluentes sólidos (VAN LIER *et al.*, 2001).

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP inaugurou no município de Franca no ano de 2018 a primeira unidade de biodigestão de lodo de esgoto no país, que produz biogás para alimentar parte da frota da empresa, que foi adaptada para ser movida a  $\text{CH}_4$ . A unidade foi instalada em parceria com instituição da Alemanha. O país possui mais de 8000 biodigestores de diferentes escalas para tratar lodos de esgoto, resíduos sólidos urbanos e efluentes da criação de animais (GAIDA *et al.* 2012).

Para aumentar a viabilidade da metodologia de tratamento ela precisa ser difundida e associada com outras fontes de produção de biogás, como reatores que tratam efluente líquido. No Brasil, estão em andamento projetos para avaliação do aproveitamento de biogás em reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA), que podem operar de forma independente ou associado a outras unidades de tratamento. De acordo com Rosa *et al.* (2018), operam no país mais de 650 reatores desse tipo e esta é uma das técnicas que tem recebido maior investimento.

### 6.7.2.2 Uso agrícola

Sob a ótica de sustentabilidade do sistema agrícola, a utilização do lodo de esgoto como condicionador de solo é bastante coerente, uma vez que parte dos nutrientes previamente exportados para os centros consumidores de alimentos e matéria-prima retornam para as áreas agrícolas, mais especificamente para o solo, de onde poderão novamente ser aproveitados pelas culturas.

No Brasil, a utilização agrícola de lodo de esgoto é regulamentada pela Resolução CO-NAMA 375/2006, que descreve que a solução para a disposição é medida que se impõe com urgência e considera que a reutilização do lodo em áreas agrícolas é uma forma ambientalmente adequada. Enquanto lodos de esgoto são ricos em nutrientes, justificando sua utilização agrícola, lodos de ETA são pobres em nutrientes e contém altas concentrações de alumínio disponível, tóxico para as plantas (ELLIOTT e DEMPSEY, 1991). Desta forma, disposição de lodos de ETA em áreas agrícolas não é uma alternativa viável como uso benéfico. No Brasil, o Estado do Paraná é que apresenta maior índice de uso agrícola do lodo de esgoto, com aproximadamente metade do lodo de esgoto sendo reciclado na agricultura. Como medida de incentivo no estado, o lodo de esgoto é distribuído gratuitamente e tem proporcionado ganhos de produtividade das culturas bastante significativos. No ano de 2013, no Estado de São Paulo, que tem a maior cobertura de sistemas de coleta de esgoto, apenas dois municípios possuíam projetos de utilização agrícola de lodo de esgoto (SAMPAIO, 2013).

Para ser utilizado na agricultura, lodos de esgoto precisam ter as concentrações de elementos potencialmente tóxicos e organismos potencialmente patogênicos determinadas. Dentre estes organismos estão coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, *Salmonella* e vírus. Para reduzir os níveis de contaminação biológica os lodos de esgoto devem passar por processo de estabilização, que pode ser realizada pela associação de processos físicos (tratamento térmico, secagem), químicos (aplicação de cal) ou biológicos (compostagem e biodigestão).

Para reduzir os riscos de contaminação, lodos de esgoto somente podem ser aplicados em culturas cuja parte comestível não entre em contato com o solo. De acordo com a legislação vigente, lodos de esgoto também não podem ser utilizados em pastagem, principalmente devido ao risco de transmissão de cisticercose (CABARET *et al.*, 2002).

Embora seja prática antiga que apresente riscos de transmissão de parasitas e infecções, efluentes não tratados ainda são utilizados na irrigação de lavouras em pelo menos 20 milhões de hectares mundialmente, inclusive para a irrigação de hortaliças, porém, pode ser citado o exemplo de um estudo realizado na Índia no qual constatou-se que quase metade das amostras de hortaliças analisadas estava contaminada com ovos de *Ascaris lumbricoides* (GUPTA *et al.*, 2009).

A poluição do solo e ambiente também é preocupação quando se trata da aplicação de lodos de esgoto, principalmente quando as plantas de tratamento fazem o tratamento compartilhado de efluentes urbanos e industriais. A preocupação é justificada, uma vez que a aplicação de lodos de esgoto aumenta a quantidade de metais no solo. No entanto, alguns desses metais são nutrientes limitantes para a produção agrícola, como zinco e cobre. A concentração de metais tóxicos dependerá da origem do lodo de esgoto (ALCANTARA *et al.*, 2009).

Lodos de esgoto são ricos em fósforo (P) e nitrogênio (N), e ambos são importantes tanto para a nutrição das culturas como causar eutrofização nos corpos hídricos. Embora P seja o principal nutriente limitante para eutrofização os corpos hídricos brasileiros, a dose de lodo de esgoto recomendada é definida com base na sua disponibilidade de N. Solos brasileiros são bastante intemperizados e retêm a maior parte do solo adicionado (ROY *et al.*, 2016). Portanto, o P contido majoritariamente na forma orgânica no lodo de esgoto exerceria pouco efeito sobre a qualidade dos corpos hídricos.

### 6.7.2.3 Construção Civil

O potencial para utilização de lodos de ETA como material de construção tem sido amplamente estudado (JOHNSON *et al.*, 2014). No entanto, a incorporação deste tipo de material em edificações ainda sofre restrições. A principal preocupação é a variabilidade dos lodos de ETA e, conseqüentemente, variabilidade dos produtos que são produzidos a partir desse subproduto. Ainda que na confecção de tijolos o lodo de ETA possa ser utilizado em diferentes proporções para que sejam atingidos os níveis requeridos de umidade e teor de matéria orgânica, torna-se difícil estabelecer um procedimento padrão. Por outro lado, as cinzas resultadas da incineração de lodos de ETA e ETE podem ser amplamente utilizadas como agregante em misturas para pavimentação, concreto, cerâmica e até vidro (SMOL *et al.*, 2015), ainda que devido a adição de sais inorgânicos os lodos de ETA apresentem baixa coesão (WANG *et al.*, 1992).

Atualmente busca-se produzir tijolos com a maior resistência e menor densidade. Nesse sentido, tanto lodos de esgoto quanto de ETA poderiam entrar na mistura para que, após a queima da cerâmica, o material orgânico dê lugar à porosidade, resultando em produtos com menor densidade (CHIANG *et al.*, 2009). Testando lodo proveniente de uma ETA, Elangovan e Subramanian (2011) concluíram que, para as condições estudadas, a utilização de até 20% de lodo na confecção de tijolos não interferiu na resistência do produto final. Vale ressaltar que cada ETA produz um material diferente, sujeito a sazonalidade, assim como a matéria-prima principal de tijolos, usualmente argila, também apresenta grande variabilidade espacial. Desta forma, as alternativas nesse sentido são aplicáveis apenas em escala local ou regional. Esse fato é reforçado pela grande variabilidade de resultados referentes aos efeitos de lodos de ETA sobre a resistência de tijolos. No Brasil, Teixeira *et al.* (2006) observaram que a incorporação de lodo de ETA influencia negativamente as propriedades físicas de tijolos e telhas. Ainda assim, os autores indicam que de 10 a 20% de lodo de ETA poderia ser misturado à argila para que os parâmetros mínimos de qualidade fossem garantidos. Enquanto autores não observaram diferenças ao adicionar até 50% de lodo de ETA na mistura, outros verificaram que apenas 1% teria resultado em efeito negativo, conforme revisado por Babatunde e Zhao (2007). Ainda considerando a peculiaridade de cada resíduo, devido ao grande volume de lodo gerado em uma única ETE ou ETA, investimentos em estudos para uma alternativa local podem ser um excelente investimento.

### 6.7.2.4 Co-processamento

O processo de produção de cimento inclui a calcinação da matéria-prima a temperaturas superiores a 1000°C. Por serem materiais essencialmente orgânicos, lodos de esgoto podem ser facilmente co-processados durante a produção de cimento, desde que sua umidade não seja superior a 50%. Até esta umidade, a energia requerida para eliminar a água seria proporcional ao poder calorífico do material, não sendo então necessária a suplementação energética. Co-processamento de lodo de esgoto em usinas de produção de cimento é considerada uma forma sustentável de tratar o resíduo e tem sido utilizada em diversos países. Outro ponto favorável é que cargas de co-processamento próximas a 5% não interfeririam em parâmetros de qualidade do cimento (CAO *et al.*, 2018).

O principal limitante para o co-processamento de lodo em cimenteiras é o custo de transporte. Embora o país tenha aproximadamente 100 usinas de produção de cimento<sup>19</sup>, raramente estas estão próximo aos centros urbanos, maiores geradores de lodo de esgoto. Além disso, as cimenteiras precisam ser licenciadas para comprovar competência para receber resíduos. Esse procedimento é estabelecido pela Resolução CONAMA 264/99 e busca garantir, principalmente, que os efluentes gasosos produzidos durante o co-processamento não sejam prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, assim como estabelecer o controle dos materiais adicionados no processo. Os principais compostos perigosos que podem ser emitidos para a atmosfera são os THC, gases nitrogenados, ácidos clorídrico e fluorídrico, material particulado, monóxido de carbono e metais pesados. É importante ressaltar que a respectiva resolução não prevê o monitoramento das emissões de  $\text{SO}_2$ , um dos gases com maior potencial para causar danos à saúde e emitido durante o co-processamento de lodo de esgoto (HONG e LI, 2011). No entanto, a resolução considera que os limites e parâmetros estabelecidos podem ser ainda mais restritivos, a depender do órgão licenciador local e, desta forma, a inclusão do monitoramento de  $\text{SO}_2$  poderia ser solicitada. Para controle dos valores estabelecidos, prevê-se que é responsabilidade do empreendedor a realização do monitoramento de tais parâmetros e encaminhamento dos resultados ao órgão ambiental competente.

---

19 [<https://cimento.org/cimento-no-brasil/>] Acesso em: 10 dez. 2022.

# Capítulo 7.

## Legislação Ambiental e de Recursos Hídricos

### 7.1 Legislação : instrumento fundamental para disciplinar o uso dos recursos naturais e proteger o meio ambiente

A água é um bem natural de domínio público, um recurso natural limitado, que desempenha diferentes funções: é um produto para consumo direto, sendo fonte de vida e alimento para as populações; é matéria prima, insumo para a produção agrícola e industrial, dotada de valor econômico e sujeita às leis de mercado, sendo essencialmente um elemento constituinte dos ecossistemas, que devem ser preservados, ou seja, a água integra valores sociais, ambientais e econômicos.

Em função de suas diversas finalidades, a água passa a ser um tema de natureza interdisciplinar complexa e os vários interesses envolvidos no uso e aproveitamento desse recurso, acabam gerando conflitos entre os usuários.

Desta forma, para atender seus múltiplos usos, é necessário que se estabeleça um modelo de gestão que obedeça aos princípios gerais da gestão ambiental, que minimize os conflitos gerados pelo desequilíbrio entre demanda e disponibilidade hídrica, que estabeleça o controle qualitativo e quantitativo, através da gestão integrada e da visão sistêmica da água.

Para buscar o equacionamento desses problemas, o poder público adotou uma série de medidas, destacando-se a criação do Ministério do Meio Ambiente – MMA em 1993, e em 1995 a Secretaria de Recursos Hídricos – SRH, foi vinculada ao MMA, consagrando a importância da água como recurso ambiental, integrando a gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental.

Atualmente, o governo federal possui uma Secretaria Nacional de Segurança Hídrica-SNSH, vinculada ao Ministério de Desenvolvimento Regional (PDR).

Este capítulo apresenta alguns documentos legais fundamentais, de referência, e discute alguns aspectos importantes dessas leis, como as obrigações e limitações que eles impõem.

#### a) Constituição da República Federativa do Brasil de 1988

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 é a lei fundamental e suprema do Brasil, servindo de parâmetro de validade a todas as demais espécies normativas.

Sobre a Constituição vale a transcrição de seu preâmbulo, que resume a sua essência, conforme segue:

Nós, representantes do povo brasileiro, reunidos em Assembleia Nacional Constituinte para instituir um Estado Democrático, destinado a assegurar o exercício dos direitos sociais e individuais, a liberdade, a segurança, o bem-estar, o desenvolvimento, a igualdade e a justiça como valores supremos de uma sociedade fraterna, pluralista e sem preconceitos, fundada na harmonia social e comprometida, na ordem interna e internacional, com a solução pacífica das controvérsias, promulgamos, sob a proteção de Deus, a seguinte CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL... (BRASIL, 1988).

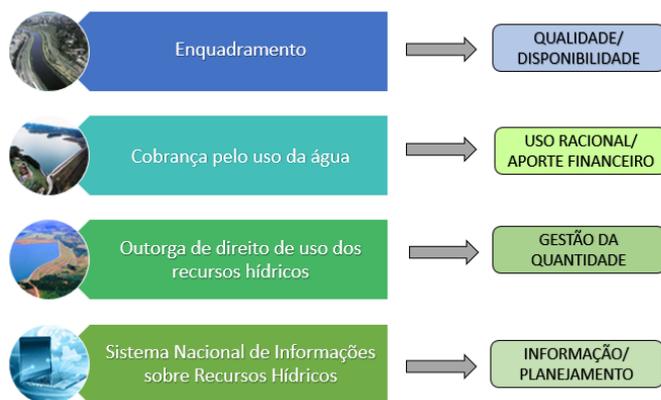
Também merece destaque o Artigo 225, transcrito a seguir: “Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

### b) Lei 9.433/1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos

Instituída pela lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, conhecida como “Lei das Águas”, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabeleceu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). A PNRH define a bacia hidrográfica como a unidade territorial de gerenciamento de recursos hídricos e estabelece a descentralização da gestão dos recursos hídricos, com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades. Seu objetivo é assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, bem como a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável (BRASIL, 1997).

A PNRH é considerada uma lei moderna que criou condições para identificar conflitos pelo uso das águas, por meio dos planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas, e arbitrar conflitos no âmbito administrativo.

A seguir são apresentados os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, conforme a Figura 64.



**Figura 64.** Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Brasil, 1997

- **Planos de Recursos Hídricos**

Os Planos de Recursos Hídricos são documentos que definem a agenda dos recursos hídricos de uma região, e visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos. São planos de longo prazo, e contemplam aspectos importantes da gestão de recursos hídricos, como diagnóstico, balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, com identificação de conflitos potenciais, metas, programas, prioridades, entre outros, sendo elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País.

- **Enquadramento dos corpos de água**

O enquadramento dos corpos d'água é um importante instrumento da Política no âmbito do planejamento, e estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido no corpo d'água ao longo do tempo. O enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade, regulamentadas por documentos legais específicos.

A definição do enquadramento é feita pelos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs), de forma participativa, e deve representar o equilíbrio entre os interesses dos diversos setores ali representados. Por essa razão, é um instrumento complexo do ponto de vista prático, pois os requisitos de qualidade são distintos para cada usuário, por exemplo, a sociedade quer que os corpos d'água atinjam elevados níveis de qualidade, nem sempre compatíveis com o montante de recursos disponíveis. Por outro lado, uma indústria que utilize as águas apenas como corpo receptor de seus efluentes, não tem interesse em melhorar a qualidade, e assim podem ser citados inúmeros exemplos. A expressão: “o rio que temos, o rio que queremos e o rio que podemos ter”, traduz toda a complexidade do processo de enquadramento.

Para auxiliar nesse processo, podem ser utilizados modelos matemáticos que possibilitem estabelecer cenários e estimar os custos relacionados, de acordo com os padrões de qualidade simulados. Para se atingir a qualidade desejada, devem ser propostas medidas de mitigação dos impactos instalados, a fim de se atender, de forma gradativa, os requisitos de qualidade de água, conforme os usos estabelecidos e pretendidos em uma região. A identificação das condições atuais da qualidade da água e dos usos preponderantes da bacia, auxilia na definição das metas, delimitando as ações necessárias para se atingir os padrões requeridos.

O enquadramento dos corpos de água possibilita compatibilizar os múltiplos usos dos recursos hídricos com o desenvolvimento econômico, auxiliando no planejamento ambiental de bacias hidrográficas, na direção do uso sustentável dos recursos hídricos.

A aprovação da proposta de enquadramento é de responsabilidade do comitê de bacia hidrográfica e a sua implantação deve ser efetuada no âmbito da bacia.

O enquadramento e as metas de qualidade direcionam as ações no sentido de buscar mecanismos para assegurar a disponibilidade quantitativa e qualitativa das águas. Esse tema será abordado adiante, conforme apresentada a legislação pertinente.

- **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos.

A obtenção da outorga está prevista para os seguintes casos:

- derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, e ainda, deverá preservar o uso múltiplo.

A outorga poderá ser expedida por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal.

A outorga não implica a alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso.

- **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**

A cobrança pelo uso da água tem como principais objetivos:

- reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;
- incentivar a racionalização do uso da água;
- obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Os valores da cobrança incidem sobre as derivações, captações e extrações de água, considerando o volume retirado e seu regime de variação, e ainda, nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, em função do volume lançado das características físicas, químicas, biológicas e de toxicidade do efluente.

Um aspecto importante da cobrança pelo uso da água se refere à aplicação dos recursos arrecadados, que serão destinados prioritariamente para as bacias hidrográficas em que foram gerados e serão utilizados para o financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos Planos de Recursos Hídricos, assim como para o custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

O valor da cobrança pelo uso da água também é estabelecido no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica, com base no volume utilizado e princípio do poluidor-pagador, no qual quem polui mais, paga mais, e quem polui menos, paga menos.

- **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**

O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão, tendo como objetivos:

- reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil;
- atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território nacional;
- fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

**c) Lei 6938/1981 – Política Nacional de Meio Ambiente**

A Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981, estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), e constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama).

A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios (BRASIL, 1981):

- ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;
- controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- recuperação de áreas degradadas
- proteção de áreas ameaçadas de degradação;
- educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

Dentre os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente podem ser destacados (BRASIL, 1981):

- o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
- o zoneamento ambiental;
- a avaliação de impactos ambientais;
- o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras; e
- os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental.

A Lei 6.938/81 apresenta o conceito de poluição, conforme apresentado no item 2.8.1.

**d) Lei nº 11.445/07 – Lei do Saneamento**

A lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007<sup>20</sup> (BRASIL, 2007), também conhecida como “Lei do Saneamento” estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, tendo como princípios fundamentais:

- universalização do acesso;
- integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso, na conformidade de suas necessidades, e maximizando a eficácia das ações e resultados;
- abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes, adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- eficiência e sustentabilidade econômica;
- utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
- transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- controle social;
- segurança, qualidade e regularidade;
- integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.
- adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água.

A Lei estabelece que a prestação de serviços públicos de saneamento básico observará os Planos de Saneamento, que poderão ser específicos para cada serviço de saneamento básico, sendo eles; abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas conforme descrito no item 1.1.

Os Planos de Saneamento deverão conter um diagnóstico da situação; objetivos e metas de curto, médio e longo prazos para a universalização, admitidas soluções graduais e progressivas; programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e as metas;

---

<sup>20</sup> Alterada pela Lei 14.026 de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País...

ações para emergências e contingências; e mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações programadas.

A Lei estabelece, ainda, que os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, sempre que possível, mediante remuneração pela cobrança dos serviços, e torna obrigatória a conexão pelas edificações permanentes urbanas, às redes públicas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário disponíveis. Efetivada a conexão (ligação), as edificações ficarão sujeitas ao pagamento das tarifas e de outros preços públicos decorrentes da conexão e do uso desses serviços.

**e) Padrão de Potabilidade - Portaria GM/MS nº 888/2021**

A Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Apresenta competências e responsabilidades de cada setor envolvido, estabelece padrões para os sistemas públicos e também aos sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano, incluindo padrão bacteriológico, substâncias químicas que representam risco à saúde, padrão de cianotoxinas, padrão organoléptico de potabilidade, entre outros.

**f) Lei 9.605/1998 - Lei de crimes ambientais**

A Lei n.º 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

De acordo com essa lei, crime ambiental é todo e qualquer dano ou prejuízo causado aos elementos que compõem o ambiente: flora, fauna, recursos naturais e o patrimônio cultural. A lei de crimes ambientais determina que a violação ao direito protegido, constitui crime passível de sanção /penalização (BRASIL, 1998).

**g) Resolução CONAMA nº 357/2005 – Classificação dos corpos d’água**

A Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

A Resolução define a classe de qualidade de um corpo hídrico como sendo o conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros, estabelecendo padrões de qualificação para as águas doces, salobras e salinas. Os padrões de qualidade das águas determinados pela Resolução estabelecem limites individuais para cada substância, em cada classe (CONAMA, 2005a).

Vale ressaltar que a Resolução estabelece que as águas doces, são águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰; as águas salobras são as águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰; e as águas salinas são águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

A Tabela 5 apresenta a classificação das águas doces, apresentando 5 classes em função dos usos previstos, sendo a Classe Especial correspondente às águas de melhor qualidade, seguida pelas Classes 1, 2, 3, e 4, em ordem decrescente de qualidade, ou seja, as águas de Classe 4 são de pior qualidade e, portanto, seus usos são mais restritos.

**Tabela 5.** Classificação das águas doces em função dos usos da água

Classe	Usos da água
Classe especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, com desinfecção</li> <li>• Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas</li> <li>• Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral</li> </ul>
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas</li> <li>• Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho</li> <li>• Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas</li> </ul>
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas</li> <li>• Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho</li> <li>• Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto</li> <li>• Aquicultura e atividade de pesca.</li> </ul>
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado</li> <li>• Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras</li> <li>• Pesca amadora;</li> <li>• Recreação de contato secundário</li> <li>• Dessedentação de animais</li> </ul>
CLASSE 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Navegação</li> <li>• Harmonia paisagística</li> </ul>

De forma análoga às águas doces, a Tabela 6 apresenta a classificação das águas salinas, sendo a Classe Especial correspondente às águas de melhor qualidade, seguida pelas Classes 1, 2 e 3, em ordem decrescente de qualidade, ou seja, as águas de Classe 3 são de pior qualidade e, portanto, seus usos são mais restritos.

**Tabela 6.** Classificação das águas salinas em função dos usos da água

Classe	Usos da água
Classe especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral</li> <li>• preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.</li> </ul>
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• recreação de contato primário</li> <li>• proteção das comunidades aquáticas</li> <li>• aquicultura e atividade de pesca.</li> </ul>
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pesca amadora</li> <li>• recreação de contato secundário</li> </ul>
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• navegação</li> <li>• harmonia paisagística</li> </ul>

A Tabela 7 apresenta a classificação das águas salobras, estabelecendo 4 classes de qualidade em função dos previstos para a água.

**Tabela 7.** Classificação das águas salobras em função dos usos da água

Classe	Usos da água
Classe especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral</li> <li>• preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas</li> </ul>
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• recreação de contato primário</li> <li>• proteção das comunidades aquáticas</li> <li>• aquicultura e à atividade de pesca</li> <li>• ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado</li> <li>• irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.</li> </ul>
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pesca amadora</li> <li>• recreação de contato secundário</li> </ul>
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• navegação</li> <li>• harmonia paisagística</li> </ul>

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o enquadramento corresponde ao estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo.

O enquadramento dos corpos de água deverá estar de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

A diretriz fundamental para o enquadramento estabelece que o enquadramento do corpo hídrico será definido pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos, sendo que nas bacias hidrográficas em que a condição de qualidade dos corpos de água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos, excetuados os parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais.

#### **h) Resolução CONAMA nº 430/2011 – Condições e Padrões de Lançamento**

A Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos de água, complementando e alterando a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Essa Resolução traz uma abordagem específica para o setor de saneamento, diferenciada dos demais setores, estabelecendo padrões para as instalações que tratam esgotos sanitários, definidos como os “esgotos predominantemente residenciais, que podem conter parcela de efluentes industriais e de não domésticos” (CONAMA, 2011, p. 89).

As Resoluções CONAMA têm abrangência nacional e devem obrigatoriamente ser obedecidas por todos, de maneira igualitária, independente do porte, geografia, diversidades e condições específicas de cada região do país, inclusive em relação aos recursos naturais, técnicos, financeiros, culturais e ambientais.

Deste modo, esta Resolução do CONAMA estabelece padrões e critérios de base, que possam garantir a proteção ambiental, porém com valores minimamente restritivos, tanto quanto possível, com a possibilidade da adoção de limites mais restritivos pelos Estados e Municípios, na esfera de suas competências, conforme prevê a legislação vigente no país.

A Resolução CONAMA nº 430/2011, parte do pressuposto que os padrões de qualidade da água deverão ser atendidos, respeitando as bases estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que continua vigente no que se refere à classificação dos corpos de água e às diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

Assim, o lançamento de efluentes nos corpos d’água deve obedecer dois princípios fundamentais, ou seja, é necessário que os efluentes tenham características compatíveis com os limites estabelecidos para o lançamento em corpos hídricos receptores, e após a zona de mistura (definida no item 1.3), o padrão da classe do corpo receptor deve ser atendido, ou seja, não é permitido que o lançamento de efluentes venha a alterar a qualidade do corpo receptor, de modo a comprometer o padrão da classe, garantindo desta forma a manutenção da qualidade da água e seus usos.

Os padrões e condições de lançamento foram pautados no estabelecimento de níveis mínimos de eficiência que pudessem assegurar a qualidade das águas, respeitando os padrões da classe. Considerou-se que a adoção de limites muito restritivos poderia demandar elevada somatória de recursos para o atendimento aos padrões fixados e, dependendo das condições locais, esses investimentos são desnecessários, por exemplo, em corpos d’água onde as condições de diluição são favoráveis. Ainda assim, os limites propostos demandam a realização de tratamento biológico para o seu atendimento, o que não era condição anterior, onde os padrões poderiam ser facilmente atendidos mediante processos físicos, usualmente adotados nos sistemas de tratamento em nível primário.

Considerando a obrigatoriedade de atendimento aos padrões da classe, parece desnecessária a fixação de padrões de lançamento de efluentes. Entretanto, esses limites de lançamento têm sua importância do ponto de vista operacional, especialmente para fins de monitoramento dos sistemas e fiscalização, uma vez que eles se configuram como uma essencial ferramenta de controle da poluição.

No processo de concepção desta resolução, o CONAMA estabeleceu algumas diretrizes a serem seguidas, assim, o novo documento deveria apresentar uma abordagem inovadora, considerando a capacidade de suporte dos corpos hídricos, também se

recomendou a proposição de novos parâmetros para substâncias inorgânicas e orgânicas não contempladas anteriormente, e o aprimoramento dos mecanismos de gestão de efluentes. Em relação ao saneamento, avanços para o setor eram almejados nesse processo.

Com essa perspectiva, considerando a organização do CONAMA para a elaboração das suas resoluções, estruturou-se uma teia de ideias e visões diferenciadas sobre o assunto, porém, consolidou-se o entendimento de que a evolução desejada para o setor de saneamento, naquele momento, seria a universalização.

Com base nessa premissa, buscou-se o estabelecimento de padrões de lançamento diferenciados para o saneamento, que representassem melhoria e proteção ambiental, porém, passíveis de atendimento por todo país, considerando, na medida do possível, a diversidade experimentada pelos estados brasileiros.

Esta distinção dada ao saneamento tem sido alvo de críticas, pois os padrões estabelecidos para o setor são menos restritivos quando comparados aos limites da resolução para os demais setores, porém, conforme mencionado, dois aspectos importantes são obrigatórios para todos os lançamentos, independente da origem: os padrões de classe deverão ser atendidos, e os efluentes somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento.

Os padrões estabelecidos buscam viabilizar a universalização do tratamento de esgotos, assim como a melhoria progressiva da qualidade ambiental, a exemplo do que foi realizado pelos países desenvolvidos, que buscaram a universalização em nível primário, seguida pelo secundário e assim sucessivamente, sem deixar de observar casos particulares, onde a antecipação dessas etapas foi necessária, em função das características locais.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 é inovadora na abordagem de lançamento de esgotos por emissários submarinos, trazendo também indicações específicas para os sistemas de disposição final de resíduos sólidos e para efluentes oriundos de serviços de saúde. Apresenta, ainda, critérios para a realização de ensaios ecotoxicológicos e diretrizes para a gestão de efluentes.

Dentre os aspectos mais significativos para o setor de saneamento, destacam-se alguns tópicos descritos a seguir.

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO<sub>5,20</sub>**

Os limites de lançamento para DBO, foram estabelecidos tomando-se como base a eficiência atingida pelos sistemas de tratamento por reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA). Esses limites são pouco restritivos, mas ensejam tratamento secundário, o que não era anteriormente exigido. Assim, a Resolução CONAMA exige efluente com concentração máxima de DBO<sub>5,20</sub> de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado caso a eficiência do sistema de tratamento seja maior ou igual a 60% em relação à remoção de DBO.

- **Melhor tecnologia**

A Resolução substitui a prerrogativa dada às agências ambientais de poder “exigir a melhor tecnologia disponível para o tratamento dos efluentes”, por “exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes”, ou seja, aquela que produza resultados compatíveis com as condições do corpo receptor. Deve-se considerar que para a melhor tecnologia disponível, não há limite, pois sempre existe a possibilidade de se avançar mais em termos tecnológicos. A expressão “tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável” leva em consideração as características locais, cabendo ao órgão ambiental avaliar se a proposição apresentada pelo empreendedor atende às exigências ambientais locais.

- **Estudos Ambientais**

A Resolução CONAMA 357/2005 facultava ao órgão ambiental competente autorizar, excepcionalmente, o lançamento de efluentes em desacordo com as condições e padrões estabelecidos, por um período de tempo pré-determinado, mediante o atendimento a requisitos específicos, dentre eles, a “*realização de Estudo de Impacto Ambiental - EIA*”. A Resolução nº430/2011 substitui a exigência do EIA pela “realização de estudo ambiental” por entender que esses estudos não devem ser fechados em um formato pré-estabelecido, sendo específicos para cada caso. Esses estudos são submetidos à apreciação do órgão ambiental competente, que irá avaliar a pertinência desse lançamento em caráter excepcional. A resolução exige, ainda, a adoção de medidas que visem neutralizar os eventuais efeitos do lançamento excepcional (CONAMA, 2011).

- **Nitrogênio Amoniacal**

A Resolução deixa claro que o limite de 20 mg/L estabelecido para nitrogênio amoniacal não será exigido para os sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Essa exigência poderia acarretar na necessidade generalizada de implantação de tratamento terciário para o alcance desse resultado. O limite, entretanto, permanece para as indústrias e demais setores que lançam efluentes nos corpos hídricos, ressaltando-se, mais uma vez, que essa diferenciação para o setor de saneamento foi estabelecida visando conquistar a universalização do tratamento de esgotos. Trata-se, portanto, de uma situação circunstancial, que deverá ser reavaliada no futuro, quando a universalização for uma realidade.

- **Padrões de lançamento – facultados pelo órgão ambiental**

A Tabela 8 apresenta os parâmetros listados na “Tabela I” da Resolução CONAMA nº430/11 e poderão ser aplicáveis aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários a critério do órgão ambiental competente, em função das características locais, não sendo exigível o padrão de Nitrogênio Amoniacal. A resolução também estabelece que o Boro não é aplicável para lançamento em águas salinas.

**Tabela 8.** Padrões de lançamento de efluentes – Tabela I da Resolução CONAMA nº430/11

TABELA I	
Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total <sup>1</sup>	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr <sup>+6</sup>
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr <sup>+3</sup>
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

<sup>1</sup> Não se aplica para o lançamento em águas salinas.

Fonte: CONAMA, 2011

- **Lixiviados de aterros sanitários**

Os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem devem atender integralmente às condições e padrões definidos para o lançamento de efluentes. No caso de sistemas de tratamento de esgotos sanitários que recebam lixiviados de aterros sanitários, o órgão ambiental competente deverá indicar quais os parâmetros da Tabela I deverão ser atendidos e monitorados, não sendo exigível o padrão de Nitrogênio Amoniacal.

- **Ensaio de ecotoxicidade**

Para os sistemas de tratamento de esgotos sanitários, os testes de ecotoxicidade somente serão realizados no caso de interferência de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor, a critério do órgão ambiental. Seu objetivo é subsidiar ações de gestão da bacia, indicando a necessidade de controle nas fontes geradoras de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor. As ações de gestão serão compartilhadas entre empresas de saneamento, fontes geradoras e órgão ambiental, a partir da avaliação criteriosa dos resultados obtidos no monitoramento.

- **Lançamento por emissários submarinos**

Para o lançamento de esgotos sanitários por emissários submarinos, ficou estabelecido que devem ser atendidos os padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura e o padrão de balneabilidade, de acordo com as normas vigentes. Este lançamento deverá ser precedido de tratamento que garanta, dentre outros, a remoção de areia, a condição de “virtualmente ausentes” para os sólidos grosseiros e materiais flutuantes, e a remoção de 20% dos sólidos em suspensão totais.

- **Limites para lançamento de fósforo**

O órgão ambiental competente poderá estabelecer limites para o lançamento de fósforo em corpos d’água receptores com registro de floração de cianobactérias em trechos onde ocorra captação de água para abastecimento público

- **Análises laboratoriais**

Os ensaios laboratoriais deverão ser realizados por laboratórios acreditados pelo INMETRO ou por outro organismo signatário do mesmo acordo de cooperação mútua do qual o INMETRO faça parte ou em laboratórios aceitos pelo órgão ambiental competente.

- **Gestão de efluentes**

As fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos deverão buscar práticas de gestão de efluentes, com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para a redução da geração e melhoria da qualidade de efluentes gerados e, sempre que possível e adequado, proceder reutilização.

A contextualização de cada fonte de poluição na região a ser implantada, considerando-se as condições de diluição e de enquadramento dos corpos d’água é fundamental e transcende as questões ambientais, uma vez que envolve interesses diversos dos usuários da bacia. Se levadas em consideração essas variáveis, aumentam as possibilidades de planejamento e otimização da aplicação dos recursos, seja para o atendimento aos padrões ambientais, seja para a universalização dos serviços de saneamento, o que representa um diferencial enorme para a saúde das cidades e de suas populações.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 abre uma série de possibilidades em relação ao tratamento de esgotos e a gestão de efluentes, podendo contribuir para o desenvolvimento ambiental das cidades, na medida em que possibilita o desenvolvimento de uma série de iniciativas voltadas para:

- a melhoria gradativa do sistema público de esgotos;
- o tratamento dos efluentes gerados pelos serviços de saúde;
- o lançamento de efluentes por emissários submarinos, sob condições específicas, o que pode promover inúmeros ganhos, pois em função das condições locais e das características do próprio emissário, apenas o tratamento prévio em estações de pré-condicionamento, composto por remoção de sólidos e desarenação, sem a necessidade de remoção de lodo, pode ser suficiente para o atendimento aos padrões de qualidade requeridos;
- o tratamento de lixiviados de aterros sanitários em conjunto com os esgotos sanitários, o que pode representar inúmeros ganhos ambientais;
- os testes de ecotoxicidade em efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, que poderão subsidiar ações de gestão da bacia, o controle nas fontes geradoras de efluentes, considerando-se que as ações de gestão serão compartilhadas entre as empresas de saneamento, as fontes geradoras e o órgão ambiental competente, empenhando um novo ritmo no processo de recebimento de efluentes industriais pelo sistema público de esgotos;
- a inserção da qualidade laboratorial, em relação aos monitoramentos e laudos produzidos;
- a adoção de práticas de gestão de efluentes, considerando o uso racional da água, a qualidade de efluentes gerados e o seu reúso, temas que não podem ser negligenciados na gestão das cidades e em especial das macrometrópoles, onde a escassez de água geralmente é um grande desafio a ser enfrentado.

### **i) Resolução CONAMA nº 274 – Balneabilidade**

A Resolução CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000, define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.

A Resolução classifica as águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) em duas categorias: própria e imprópria, sendo que as águas consideradas próprias poderão ser subdivididas nas seguintes categorias:

- Excelente: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes fecais (termotolerantes) ou 200 *Escherichia coli* ou 25 enterococos por 100 mililitros;
- Muito Boa: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 400 *Escherichia coli* ou 50 enterococos por 100 mililitros;
- Satisfatória: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes fecais (termotolerantes) ou 800 *Escherichia coli* ou 100 enterococos por 100 mililitros.

A Resolução estabelece que a amostragem seja feita, preferencialmente, nos dias de maior afluência do público às praias ou balneários, a critério do órgão de controle ambiental competente, recomendando, ainda, aos órgãos ambientais, a avaliação das condições parasitológicas e microbiológicas da areia, para futuras padronizações.

#### **j) Resolução CONAMA nº 498/2020 – Aplicação de biossólidos em solos**

O CONAMA publicou a Resolução nº 375 em 29 de agosto de 2006, referente ao uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Por ser extremamente rigorosa, acabou por limitar a adoção dessa prática pelas empresas de saneamento. Entretanto, em seu Art. 28, estabelecia a possibilidade de reformulação dos critérios técnicos adotados, com base em estudos específicos. Desse modo, 14 anos depois, foi publicada a nova Resolução nº 498 de 19 de agosto de 2020, que define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, que adotou como principal referência, a Norma 40 CFR Part 503 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA), que estabelece padrões para a aplicação de lodo de esgoto no solo.

Para avaliar a qualidade do biossólido, os seguintes aspectos devem ser observados: potencial agrônomico; redução de atratividade de vetores; substâncias químicas; e qualidade microbiológica. O estabelecimento dos limites relacionados aos organismos patogênicos foi fundamentado em estudos de avaliação quantitativa de risco microbiológico. Como resultado, a Resolução estabelece duas abordagens para essa avaliação: a caracterização microbiológica e o atendimento a parâmetros operacionais específicos, baseados nos processos de produção do biossólido. Assim, o lodo Classe A, de melhor qualidade, deve atender simultaneamente aos dois requisitos de qualidade, enquanto que ao lodo Classe B é facultado atender apenas um dos requisitos de qualidade microbiológica, entre outros. Um aspecto importante da nova Resolução é a adoção da *Escherichia coli* (*E. coli*) como indicador de contaminação bacteriológica, para identificar a ausência ou presença de *Salmonella* no biossólido sempre antes de sua aplicação no solo. A verificação da eficiência de remoção de outros microrganismos patogênicos, como ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos, é feita através do monitoramento de parâmetros de controle operacional, que possuem padrões específicos para cada processo de tratamento do lodo, garantindo assim a qualidade microbiológica requerida para o uso do biossólido. Em relação aos valores máximos permitidos para as substâncias químicas, como os metais, o biossólido é classificado como Classe 1 e Classe 2, sendo que os limites para a Classe 1 são mais restritivos. Para garantir a qualidade, o biossólido Classe 2 está sujeito ao atendimento de critérios adicionais de controle, como a avaliação das taxas de aplicação e a carga máxima acumulada em solos.

Para possibilitar a aplicação no solo, qualquer biossólido, independentemente da classe, deverá atender aos critérios de redução de atratividade de vetores, que são variáveis em função do processo empregado na produção.

A utilização de biossólidos em solos, pressupõe que a saúde humana, ocupacional e ambiental sempre deve estar protegida, seja o lodo Classe A1, A2, B1 ou B2. Para isso são estabelecidos critérios para o monitoramento do biossólido, bem como dos processos de produção, cujas frequências são variáveis em função da quantidade de biossólido aplicada no solo. Após 2 anos de monitoramento, o órgão ambiental competente poderá autorizar a redução da frequência de monitoramento, desde que comprovada uma baixa variabilidade na concentração de substâncias químicas, na qualidade microbiológica e nos parâmetros de controle operacional dos processos de redução de patógenos e de atratividade de vetores.

A resolução ainda estabelece critérios para monitoramento das áreas de aplicação, além de procedimentos para o carregamento, transporte e aplicação do biossólido.

A nova Resolução ampliou as possibilidades de utilização do lodo, estabelecendo condições para a sua aplicação em áreas degradadas e em áreas protegidas, possibilitando a utilização em Unidades de Conservação de Proteção Integral, sendo vetada a sua aplicação em Áreas de Proteção Permanente. Com a nova Resolução, atendidas as restrições de aplicação em função do período da colheita ou do pastejo, é permitido, entre outros, o uso para cultivos de alimentos consumidos crus e cuja parte comestível tenha contato com o solo, e em pastagem.

### k) Lei 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

Dentre os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, destacam-se:

- proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
- redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- gestão integrada de resíduos sólidos.

A Política agrega importantes conceitos relacionados aos resíduos sólidos, sendo importante destacar:

- **destinação final ambientalmente adequada:** destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
- **disposição final ambientalmente adequada:** distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
- **logística reversa:** instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

- **padrões sustentáveis de produção e consumo:** produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras;
- **reciclagem:** processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

- a prevenção e a precaução;
- o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;
- a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- o desenvolvimento sustentável;
- a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;
- a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;
- a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;
- o respeito às diversidades locais e regionais;
- o direito da sociedade à informação e ao controle social;

São instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outros:

- os planos de resíduos sólidos;
- os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos;
- a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- a pesquisa científica e tecnológica;
- a educação ambiental;

A política ainda estabelece que:

- Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.
- Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.
- A elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição se ter acesso aos recursos da União, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.
- O acesso a esses recursos será priorizado aos municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos e implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda.

#### **l) Lei 9795/ 1999 - Política Nacional de Educação Ambiental**

A lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental.

De acordo com essa lei, educação ambiental são os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

A lei estabelece que a educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal, e como parte de um processo educativo mais amplo, todos têm direito à educação ambiental.

De acordo com a lei, educação ambiental não-formal são ações e práticas educativas voltadas à sensibilização da coletividade sobre as questões ambientais e sua organização e participação na defesa da qualidade do meio ambiente.

São objetivos fundamentais da educação ambiental:

- o desenvolvimento de uma compreensão integrada do meio ambiente em suas múltiplas e complexas relações, envolvendo aspectos ecológicos, psicológicos, legais, políticos, sociais, econômicos, científicos, culturais e éticos;
- a garantia de democratização das informações ambientais;
- o estímulo e o fortalecimento de uma consciência crítica sobre a problemática ambiental e social;
- o incentivo à participação individual e coletiva, permanente e responsável, na preservação do equilíbrio do meio ambiente, entendendo-se a defesa da qualidade ambiental como um valor inseparável do exercício da cidadania;

- o estímulo à cooperação entre as diversas regiões do País, em níveis micro e macror-regionais, com vistas à construção de uma sociedade ambientalmente equilibrada, fundada nos princípios da liberdade, igualdade, solidariedade, democracia, justiça social, responsabilidade e sustentabilidade;
- o fomento e o fortalecimento da integração com a ciência e a tecnologia;
- o fortalecimento da cidadania, autodeterminação dos povos e solidariedade como fundamentos para o futuro da humanidade.

A lei estabelece que a educação ambiental será desenvolvida como uma prática educativa integrada, contínua e permanente em todos os níveis e modalidades do ensino formal, porém não deve ser implantada como disciplina específica no currículo de ensino, sendo facultados aos cursos de pós-graduação e extensão, entre outros, a criação de disciplina específica.

A lei determina que nos cursos de formação e especialização técnico-profissional, em todos os níveis, deve ser incorporado conteúdo que trate da ética ambiental das atividades profissionais a serem desenvolvidas e que a dimensão ambiental deve constar dos currículos de formação de professores, em todos os níveis e em todas as disciplinas.

Conforme determinação da lei, o Poder Público, em níveis federal, estadual e municipal, incentivará:

- a difusão, por intermédio dos meios de comunicação de massa, em espaços nobres, de programas e campanhas educativas, e de informações acerca de temas relacionados ao meio ambiente;
- a ampla participação da escola, da universidade e de organizações não-governamentais na formulação e execução de programas e atividades vinculadas à educação ambiental não-formal;
- a participação de empresas públicas e privadas no desenvolvimento de programas de educação ambiental em parceria com a escola, a universidade e as organizações não-governamentais;
- a sensibilização da sociedade para a importância das unidades de conservação;
- a sensibilização ambiental das populações tradicionais ligadas às unidades de conservação;
- a sensibilização ambiental dos agricultores;
- o ecoturismo.

# Capítulo 8.

## Educação Sanitária e Ambiental

### 8.1 Conhecimento e ação para a construção de valores que contribuem para a saúde e o bem-estar individual e coletivo

Scliar (2007) menciona que o conceito de saúde deve refletir a conjuntura social, econômica, política e cultural, sofrendo a influência das condições locais, geográficas, climáticas, ambientais, religiosas, entre outros.

No começo do século passado, alguns estudiosos já correlacionavam a saúde física com a saúde mental e mencionavam a necessidade de organização das comunidades e de mecanismos sociais para assegurar um padrão de vida adequado para a manutenção da saúde de cada indivíduo. Esses elementos foram incorporados pela OMS em 1947, quando definiu saúde como “o estado do mais completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de enfermidade...”

O conceito de saúde estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), tem provocado uma agenda constante de discussões e críticas, e mesmo que sua compreensão seja quase intuitiva, por ser tão abrangente e complexo, alguns autores mencionam tratar-se de uma condição irreal, argumentando que não existe essa completude em relação à saúde, propondo uma concepção alternativa de saúde como “um estado de razoável harmonia entre o sujeito e a sua própria realidade” (SEGRE e FERRAZ, 1997).

Esse simples exemplo denota a grande diferença entre os conceitos, pois “estado do mais completo bem-estar” é muito diferente de “estado de razoável harmonia”, mas é importante destacar que a própria OMS reconhece que as soluções não são simples, não havendo consenso sobre como proceder para suprir as carências em saúde da população.

Sob esse aspecto, é importante lembrar que no Brasil, a Constituição Federal de 1988 estabelece em seu Artigo 196 que a “saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para a promoção, proteção e recuperação” (BRASIL, 1988).

Mesmo não havendo consenso sobre a melhor definição para saúde, algumas evidências são inquestionáveis e unânimes: é impossível dissociar saúde do contexto ambiental, e promover saúde sem uma participação ativa da população (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

Com esse pano de fundo, surge a necessidade de compreender qual a função do saneamento para a promoção da saúde. Por meio das ações de saneamento são disponibilizados sistemas e equipamentos que irão contribuir para a salubridade ambiental e o afastamento das doenças, mas não basta disponibilizar os sistemas. Saneamento não se faz só com obras e sua amplitude fica limitada se não houver a inserção de uma variável importante nesse processo: o envolvimento das pessoas.

A educação sanitária e ambiental é a ferramenta adequada para estabelecer o diálogo com as pessoas, fornecendo informação direcionada a cada público, que passará a compreender a importância dessas estruturas para a sua saúde e bem-estar. Quando a necessária mudança dos hábitos sanitários das pessoas não é observada, os benefícios ambientais e à saúde pública ficam comprometidos.

Esse capítulo aborda a importância da educação sanitária e ambiental para a promoção da saúde pública, considerando-se as possibilidades de atuação em relação à prestação de serviços de saneamento.

## 8.2 Saneamento, Saúde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Social

Investimentos em saneamento adequadamente aplicados têm mostrado, em médio e longo prazo, sua relação com a redução dos índices de mortalidade infantil e de doenças de veiculação hídrica, como cólera e leptospirose, além das verminoses que afetam substancialmente a capacidade do homem para o trabalho (HELLER, 1998; PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

O abastecimento de água é primordial na promoção da saúde. Um sistema de abastecimento de água, conforme apontado no capítulo 3, tem como objetivo captar a água de um manancial, tratá-la e distribuí-la através de redes de distribuição até as edificações para ser utilizada pela população.

A água distribuída deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos por lei, conforme a Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), porém, ainda que sejam inquestionáveis os benefícios oferecidos pelo tratamento da água, observa-se que atender às características de qualidade da água não é o bastante para garantir a saúde da população (NARDDOCCI *et al.*, 2008).

Estudos epidemiológicos apontam os efeitos benéficos diretos e indiretos do abastecimento de água e do esgotamento sanitário sobre a saúde, e destacam a importância das práticas higiênicas e da educação sanitária sobre as intervenções de saneamento. Heller (1998) destaca que o saneamento e, especialmente, a melhoria da qualidade da água, podem ter seus efeitos sobre a saúde minimizados ou até mesmo anulados, por fatores de ordem comportamental ou ambiental, como a presença de contaminação no meio.

A relação entre saneamento e desenvolvimento social é bastante conhecida, e em geral, os países com mais elevado grau de desenvolvimento têm menor carência de atendimento por serviços de saneamento, e por sua vez, países com melhores coberturas em saneamento possuem populações mais saudáveis (HELLER, 1998).

Um enfoque mais abrangente considera na relação saúde e ambiente, as ações de saneamento como ferramenta para a melhoria da qualidade ambiental e para a erradicação das doenças, sobretudo, é importante destacar, conforme afirmam Ribeiro e Günther (2010), que “ações de saneamento ambiental e promoção da saúde, levadas como atividades fins, não se sustentam, sendo essencial a participação comunitária/institucional no direcionamento, implementação e na sustentabilidade dessas ações”.

Sendo a saúde pública objeto primordial do saneamento, é fundamental que a área da saúde incorpore a visão preventiva com ênfase para a ação do ambiente sobre ela. Da mesma forma, o saneamento deve ampliar a eficácia de suas ações, considerando a perspectiva da saúde pública como um objetivo e não apenas como uma consequência (HELLER, 1998).

### 8.3 Educação e Desenvolvimento Sustentável

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio 92, propôs uma associação mundial em prol do desenvolvimento sustentável, no sentido de desenvolver consciência sobre meio ambiente e desenvolvimento em todos os setores da sociedade, estabelecendo um programa de ação que constituiu a Agenda 21 Global, cujos princípios permanecem válidos e precisam ser respeitados ainda hoje (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

A Agenda 21 (ONU, 1995) menciona a necessidade de reorientação do ensino no sentido do desenvolvimento sustentável, e considera o ensino formal e o ensino informal indispensáveis para modificar a atitude das pessoas, para conferir consciência ambiental e ética, valores e atitudes, técnicas e comportamentos em consonância com o desenvolvimento sustentável, devendo ser empregados métodos diversificados e meios efetivos de comunicação para a efetivação dos objetivos e implementação das ações (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

Sob esse aspecto, no Brasil, a Política Nacional de Educação Ambiental estabelecida em 1999, estabelece a educação ambiental como um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal (BRASIL, 1999).

De acordo com essa Política, a educação ambiental formal é aquela inserida na educação escolar a desenvolvida no âmbito dos currículos das instituições de ensino públicas e privadas, e a educação ambiental não-formal corresponde às ações e práticas educativas voltadas à sensibilização da coletividade sobre as questões ambientais e à sua organização e participação na defesa da qualidade do meio ambiente.

Passados vinte anos, na Conferência Rio +20, avaliou-se o processo e as lacunas remanescentes das cúpulas anteriores, e os resultados dessa avaliação deram origem ao documento intitulado “O Futuro que Queremos”, no qual se reconhece que a formulação de metas poderia ser útil para o lançamento de uma ação global coerente e focada no desenvolvimento sustentável. Com base nessa orientação, as comunidades internacionais iniciaram

um processo de consulta global para a construção de um conjunto de objetivos universais de desenvolvimento sustentável. (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

### 8.3.1 A Agenda 2030

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável surgiu em setembro de 2015, quando líderes mundiais representantes dos 193 Estados-Membros da Organização das Nações Unidas (ONU) se reuniram na sua sede, em Nova York, e reconheceram que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, é o maior desafio global e requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

Assim, o documento assinado na Assembleia Geral da ONU em 2015, denominado “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, apresentou um plano de ação para erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade: a Agenda 2030, a qual contém o conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

#### 8.3.1.1 Educação de Qualidade

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável Número 4 (ODS - 4) diz respeito à Educação de Qualidade, e visa “assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos”.

Esse objetivo é abrangente e contempla todos os níveis de educação, além do acesso universal à educação primária para as crianças ao redor do mundo. A promoção da capacitação, com base nos princípios de direitos humanos e desenvolvimento sustentável é o centro deste objetivo, que visa ampliar as oportunidades das pessoas mais vulneráveis no caminho do desenvolvimento.

A meta número 4.7 estabelece o seguinte:

*Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de gênero, promoção de uma cultura de paz e não-violência, cidadania global, e valorização da diversidade cultural e da contribuição da cultura para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).*

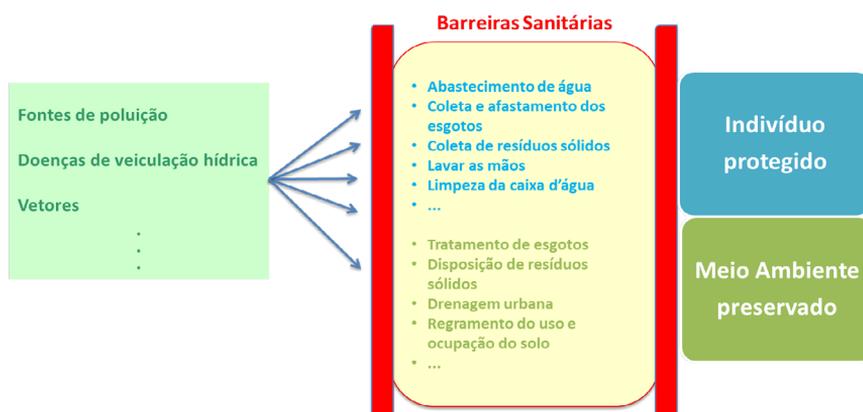
## 8.4 As barreiras sanitárias e a efetividade do saneamento como ferramenta de promoção da saúde pública

Os equipamentos de saneamento só funcionarão como uma efetiva barreira sanitária, interrompendo o processo de transmissão de doenças, a partir da incorporação pela população de hábitos e comportamentos saudáveis.

Sem saneamento, não é possível abrir uma torneira para lavar as mãos. É um simples ato rotineiro, com uma importante função na prevenção de doenças, uma efetiva barreira sanitária que não tem seu valor percebido, pois está incorporada no cotidiano daqueles que têm acesso aos serviços de saneamento.

Esse cenário se modificou um pouco com a pandemia COVID 19, onde se evidenciou a importância do saneamento para reduzir o número de casos e o controle da doença. As iniciativas do setor de saneamento foram fundamentais para o enfrentamento de um dos maiores desafios sanitários já registrados na história mundial. Uma série de medidas urgentes foram tomadas para garantir o abastecimento de água, além de ações direcionadas à mitigação dos impactos da pandemia nos grupos sociais mais vulneráveis, como a instalação de lavatórios e pias públicas em pontos estratégicos, distribuição de caixas d'água e de kits de higiene, entre tantas outras providências.

A Figura 65 mostra algumas barreiras sanitárias na proteção à saúde e ao meio ambiente, sendo importante observar as ações de saneamento destacadas na figura.



**Figura 65.** As barreiras sanitárias na proteção à saúde e ao meio ambiente.

Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando-se que um dos grandes objetivos da prestação dos serviços de saneamento é contribuir para a promoção da saúde e a melhoria contínua da qualidade de vida, é importante e urgente alcançar a universalização do acesso ao saneamento. De acordo com a Lei nº 11. 445/2007, atualizada pela Lei 14.026/2020, as metas para a universalização estão estabelecidas da seguinte forma:

*os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão definir metas de universalização que garantam o atendimento de 99% (noventa e nove por cento) da população com água potável e de 90% (noventa por cento) da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033, assim como metas quantitativas de não intermitência do abastecimento, de redução de perdas e de melhoria dos processos de tratamento (BRASIL, 2007).*

A universalização dos serviços de saneamento para as populações é o principal foco das empresas operadoras de saneamento. A carência por esses serviços ainda é muito grande no país e para atendê-la temos observado uma intensa mobilização nacional. Ressalta-se que o abastecimento de água é a ação mais significativa do saneamento no que se refere à promoção da saúde pública. Em seguida, considerando o ciclo da água no saneamento, vem a coleta dos esgotos, que é uma ação sanitária de âmbito local, que promove benefícios à saúde pelo afastamento dos esgotos do entorno das populações. O tratamento de esgotos é a terceira ação nessa linha de prioridades, pois possui abrangência regional, promovendo a melhoria da qualidade ambiental, uma vez que os rios deixam de receber esgotos sem tratamento (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

As ações de saneamento devem ser inseridas no contexto multidisciplinar das questões ambientais, de maneira integrada com as políticas de saúde, de desenvolvimento urbano e rural, de meio ambiente, de recursos hídricos e de habitação, constituindo importante vetor de desenvolvimento social e de proteção à saúde pública, uma vez que o acesso aos serviços de saneamento promove a oferta de condições de vida mais dignas para a população (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

# Capítulo 9.

## Projetos de Saneamento e Desenvolvimento Social

### 9.1. Educação Sanitária e Ambiental - Uma frente de atuação na prestação de serviços de saneamento

Em consonância com as iniciativas globais para uma educação de qualidade voltada para o desenvolvimento sustentável, e considerando-se as relações e interfaces entre saneamento, saúde, meio ambiente e desenvolvimento social, são inúmeras as práticas e perspectivas da educação sanitária ambiental, conforme as linhas e temas apresentados a seguir.

A educação sanitária e ambiental deve ser um projeto social e ambiental, multidisciplinar, apoiado em ações coletivas, na participação de cada indivíduo, consciente de seu papel perante a sociedade. Nesse sentido, a educação sanitária e ambiental não é apenas um “manual de boas práticas”, pois contribui para a formação de cidadãos. A partir da percepção dos efeitos ocasionados pela ação do homem sobre o ambiente e do ambiente sobre o homem, adquire-se melhor compreensão da dimensão ambiental e de sua importância, bem como das responsabilidades e direitos envolvidos no convívio social (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

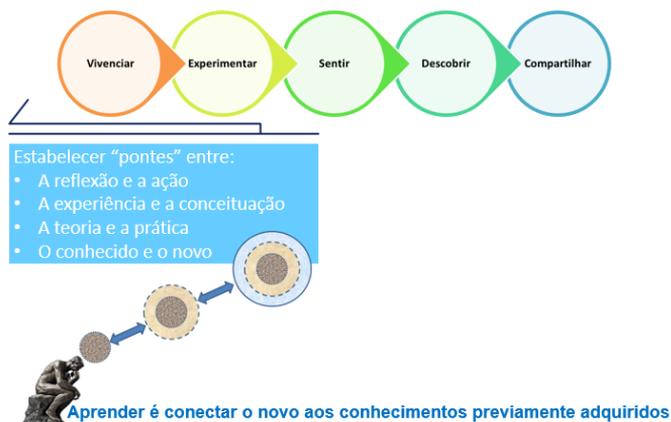
Numa visão ainda mais abrangente, Sorrentino *et al.* (2005) destacam o papel da educação ambiental como agente de transformação social, visando a superação de injustiças e desigualdade social, entre outros.

Assim, não basta a inserção do tema no currículo escolar, e a capacitação técnica dos educadores. A educação sanitária e ambiental não se resume na simples transmissão de conhecimento para aplicação isolada de práticas de higiene em cada domicílio. Essas práticas individualizadas, desconectadas do entorno, podem trazer algum benefício à saúde, mas seu alcance é limitado (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

A Figura 66 ilustra o dinâmico processo da aprendizagem, que passa pelo interesse do indivíduo, interação e compreensão dos benefícios e da utilidade do objeto de aprendizagem, bem como a necessidade de estabelecer pontes entre o novo e os conhecimentos previamente adquiridos.

### Processo de Aprendizagem

*Aprendemos quando interagimos com os outros e o mundo  
Aprendemos pelo interesse, pela necessidade  
Aprendemos quando percebemos o objetivo e a utilidade de algo*



**Figura 66.** Processo de aprendizagem.

Fonte: Elaborado pelos autores

Promover educação sanitária e ambiental nas escolas é uma importante forma de envolvimento da sociedade, mas para a efetiva inserção desses conceitos na cultura e na vida da população são necessárias iniciativas para o desenvolvimento de ações participativas, integradas às comunidades.

#### 9.1.1 Escassez hídrica, uso racional e cuidados com a água para consumo humano

O cuidado com os mananciais de abastecimento público tem se configurado como tema para poucos, fechado num emaranhado de leis, provido de um vocabulário próprio, com significado específico, a exemplo das palavras “enquadramento” e “bacia”. Mesmo com a instituição da participação social na gestão das águas, o tema permanece distante da realidade das pessoas e da sociedade como um todo, sendo senso comum que o cuidado com as águas de abastecimento é assunto restrito às agências ambientais, companhias de saneamento e demais órgãos competentes (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

A percepção do valor da água é importante para estimular os cuidados necessários para garantir a sua qualidade e quantidade. Nos setores industriais que utilizam a água como matéria prima em seus processos produtivos, a qualidade e a disponibilidade da água são essenciais para sua sobrevivência no mercado. No caso de usuários sujeitos à obtenção de outorga, que é a autorização para o uso da água (ver Capítulo 7), os cuidados com a água já são uma prática sistemática. Isso ocorre, pois além do pagamento pelo uso da água, caso haja lançamento de efluentes em corpos hídricos, esses usuários também estarão sujeitos

às ações de fiscalização e cobrança pelos órgãos ambientais e demais órgãos competentes, respectivamente. Por essas razões, o uso racional da água e o monitoramento da qualidade dos efluentes gerados, possibilitam a esses usuários aferir os efeitos de suas atividades sobre o ambiente, no caso, a água.

Para o cidadão comum, quando esses mananciais se encontram em locais afastados dos centros urbanos, a percepção sobre sua responsabilidade com a qualidade das águas, ainda é mais difícil. No caso da utilização das águas para atividades de lazer, como natação, mergulho, pesca, navegação, entre outros, oportunidades em que há contato direto com a água em ambientes como praias, parques, rios, lagos ou represas, essa percepção fica mais fácil, porém permanece limitada a uma ação local, relacionada principalmente aos cuidados com os resíduos gerados durante sua estadia nesses locais (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

Mas ainda assim, existem casos de sucesso que merecem ser relatados e que podem ser adotados em situações similares. No que se refere a participação social e as ações individuais em relação ao uso consciente da água e ações para a sua conservação, a resposta da população tem sido rápida e efetiva.

Exemplo disso pode ser observado com o advento da crise hídrica, ocorrido na Região Metropolitana de São Paulo, em 2014/2015, ocasião em que a população recebeu uma grande quantidade de informações e passou a compreender melhor a importância da água e o funcionamento do sistema público de abastecimento de água, considerando as etapas que compõem o caminho que a água percorre até chegar à torneira. A abundância de informações veiculadas à época, resultou em uma significativa redução no consumo de água pela população. Vale destacar que mesmo após superada a crise hídrica, o volume de água consumido pela população não voltou a alcançar os níveis de consumo anteriormente praticados.

Esse ganho de conhecimento, talvez tenha sido o grande legado obtido com a crise hídrica. Para o enfrentamento do problema, foram intensificados os canais de comunicação com os usuários da água, em todos os setores. Para a população em geral, abriu-se espaço ao diálogo para tratar de temas relacionados aos hábitos e vícios que levam ao desperdício, possibilidades para a diminuição do consumo de água, vazamentos internos, substituição de equipamentos hidráulicos por modelos economizadores, possibilidades de reúso domiciliar de água e aproveitamento de água da chuva.

O envolvimento e a participação social em questões relacionadas à proteção de mananciais e escassez hídrica são fundamentais. O sistema de gestão de recursos hídricos dispõe de ferramentas específicas para esse fim, mas a ação individual, por meio do uso racional da água e utilização adequada dos equipamentos de saneamento é um fator importante para o aumento da disponibilidade hídrica, e precisa ser adequadamente orientada.

### 9.1.2 Saúde, qualidade da água e acesso ao saneamento

O fornecimento ininterrupto de água potável para consumo pela população é a ação de saneamento mais importante para a promoção da saúde pública.

Todavia, ainda que os sistemas de produção de água respeitem todos os mecanismos de controle de qualidade instituídos e que a água distribuída atenda aos padrões de pota-

bilidade, é fundamental que os equipamentos de saneamento sejam adequadamente utilizados, pois de outra forma, haverá um limite ao alcance dos benefícios que esse serviço pode oferecer.

Portanto, assegurar a qualidade da água é fundamental para proteger a saúde, mas também devem ser observados aspectos como a manutenção de hábitos de higiene, padrões adequados de habitação, alimentação e nutrição, boas condições sanitárias nos domicílios, com ausência de resíduos, roedores e insetos pelo ambiente, entre outros elementos relevantes nesse processo.

Estudos desenvolvidos por Ittiravivongs *et al.* (1992) avaliam a saúde dos residentes considerando as condições sanitárias de famílias e lares, classificados como higiênicos e não higiênicos, e o acesso aos serviços de abastecimento de água, coleta de esgotos, coleta de resíduos sólidos, saneamento de alimentos, controle de roedores e insetos, concluindo que há uma importante correlação entre essas variáveis.

Vale salientar que no Brasil, os índices de locais sem rede de esgoto, sem banheiros ou fossas adequadas para a deposição de dejetos humanos ainda são bastante elevados, o que traz consequências indesejáveis à saúde da população.

Destaca-se, ainda, que mesmo em locais dotados de toda infraestrutura de saneamento e instalações domiciliares, deve-se considerar a importância da manutenção do reservatório domiciliar (limpeza da caixa d'água) para a garantia da qualidade da água.

A correlação positiva entre água e saúde também pode ser impactada em situações de escassez hídrica, em que a busca por fontes alternativas de abastecimento aumenta. Nesses casos, o risco do consumo de água não potável é muito grande, podendo acarretar sérios danos à saúde.

Ressalta-se que a saúde e a doença estão condicionadas aos modos de vida, condições de vida e estilos de vida, expressos, respectivamente, pela convivência em sociedade, em grupo, e pelo próprio indivíduo. Promover saúde muitas vezes requer transformações no comportamento do indivíduo, considerando a família e a comunidade na qual ele está inserido, ou seja, não bastam as mudanças de comportamento individual, pois fatores de ordem coletiva sempre participam dessas transformações (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

A construção de conceitos e o estabelecimento de uma nova visão sobre a saúde e a mudança de hábitos, necessitam ser tratados a partir de uma interação entre as pessoas e de uma avaliação crítica das mesmas sobre a sua realidade e o ambiente em que vivem. É preciso haver compreensão e sentido frente aos elementos a serem trabalhados, correlacionando-os a situações e vivências já conhecidas, estimulando um novo olhar e a superação das dificuldades que se apresentam nos processos de aprendizagem e mudança (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

### 9.1.3 Poluir é um ato; despoluir é um processo

A poluição das águas é ocasionada por ações ou interferências naturais ou antropogênicas que alteram suas características podendo comprometer os usos pretendidos para ela. As

principais fontes de poluição das águas são as atividades agrícolas, conforme apresentado no item 2.8.3, e as atividades industriais e domésticas, principalmente pelo descarte de esgotos sem tratamento. A qualidade da água é imediatamente afetada no ponto de lançamento dessas cargas poluidoras, e seus efeitos, por exemplo, podem se estender por grandes distâncias ao longo do leito de um rio, dependendo das condições locais. Em razão desse impacto logo após o lançamento, podemos considerar que poluir a água é uma ação com efeitos praticamente imediatos, ou seja: “poluir é um ato”.

O aporte de cargas poluidoras provoca um impacto nos corpos d’água, dando início ao fenômeno natural de autodepuração, pelo qual o meio aquático busca o reequilíbrio a partir de reações e processos físicos, químicos e biológicos, que gradativamente promovem a recuperação da qualidade das águas, conforme descrito no item 4.6. Com base nesse fenômeno, pode-se afirmar, literalmente, que “despoluir é um processo”.

Os processos de despoluição das águas, do solo, do ar, não se encerram com a execução de obras, pois envolvem um conjunto de elementos direcionados para a construção de uma nova realidade social, onde cada indivíduo, instituição ou setor da sociedade, público ou privado, tem uma responsabilidade e um papel a desempenhar (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

### 9.1.4 Utilização das instalações do sistema público de esgotos

A correta utilização dos equipamentos de saneamento é fundamental para a promoção da saúde, conforme mencionado em diferentes tópicos apresentados neste livro, mas também constitui uma preocupação para o setor de saneamento, pois a sua utilização equivocada pode causar problemas operacionais de grande magnitude.

Por essa razão, esse é um tema fundamental a ser abordado em atividades de educação sanitária e ambiental, seja nas discussões sobre a importância e os benefícios da adesão pela população aos sistemas de esgotamento sanitário, ou no caso da utilização de fossas sépticas, quanto à necessidade de instalar e manter as fossas de forma adequada.

#### 9.1.4.1 Adesão ao sistema de esgotos – a efetivação da ligação

A ligação domiciliar à rede coletora do sistema público de esgotos implica no pagamento pelos serviços de coleta, afastamento e tratamento de esgotos, lembrando que a universalização do saneamento está prevista para o ano de 2033.

Por essa razão, frequentemente não há interesse pelo usuário em executar a ligação, uma vez que os ganhos relacionados aos serviços não são facilmente percebidos, ao contrário, associa-se a ligação de esgotos a mais uma despesa a ser acrescentada ao orçamento mensal.

A educação sanitária e ambiental tem sido um instrumento fundamental para motivar a adesão ao sistema de esgotamento sanitário quando eles são disponibilizados, além de orientar quanto aos aspectos relacionados ao uso correto das instalações, manutenção e cuidados para que os equipamentos funcionem de modo adequado.

O marco legal do saneamento alterado pela Lei 14.026/2020, estabelece a obrigatoriedade da ligação domiciliar de esgoto, conforme indicado a seguir:

*As edificações permanentes urbanas serão conectadas às redes públicas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário disponíveis e sujeitas ao pagamento de taxas, tarifas e outros preços públicos decorrentes da disponibilização e da manutenção da infraestrutura e do uso desses serviços (BRASIL, 2007).*

O marco legal também estabelece que, quando disponibilizada a rede pública de esgotamento sanitário, o usuário estará sujeito aos pagamentos previstos, sendo cobrado um valor mínimo para edificações não conectadas à rede pública. Estabelece, ainda, que o pagamento deste valor mínimo não isenta o usuário da obrigação de conectar-se à rede pública de esgotamento sanitário, prevendo sanções e multas aos usuários que descumprirem a obrigação de efetuar a ligação (BRASIL, 2007).

De acordo com a lei,

*o serviço de conexão de edificação ocupada por família de baixa renda à rede de esgotamento sanitário poderá gozar de gratuidade, ainda que os serviços públicos de saneamento básico sejam prestados mediante concessão, observado, quando couber, o reequilíbrio econômico-financeiro dos contratos (BRASIL, 2007).*

### 9.1.4.2 Esgotos em galerias de águas pluviais e Águas pluviais no sistema de esgotos

Considerando-se a concepção do sistema de esgotos adotada no país, como sistema separador absoluto, no qual os esgotos sanitários veiculam em um sistema independente do sistema de coleta e drenagem de águas pluviais, tanto o lançamento de esgotos em galerias de águas pluviais quanto as contribuições de águas pluviais no sistema público de esgotos, causam impactos aos sistemas operacionais e ao meio ambiente.

A ligação de esgotos em galerias de águas pluviais é proibida por lei e tem implicações ambientais severas, uma vez os esgotos acabam chegando aos corpos d'água sem qualquer tratamento, causando poluição e impactos ambientais nos corpos receptores dessas águas, que podem ser rios, córregos e praias, entre outros (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2019).

Quando as contribuições de águas pluviais são encaminhadas à rede coletora de esgotos, os impactos causados ao sistema de esgotos são em decorrência de eventuais sobrecargas, que podem levar à obstrução das redes. Isso acontece porque o sistema de drenagem recebe toda a poluição difusa e quantidades enormes de resíduos sólidos, que são descartados inadequadamente, principalmente nas vias públicas, e carreados para as galerias de águas pluviais durante os eventos de chuva. São esses resíduos que causam entupimentos no sistema coletor de esgotos, por conta dessas conexões indevidas. Outro impacto causado, decorre do extravasamento de esgoto, pois quando chove, o sistema coletor não comporta as vazões recebidas via conexões irregulares, que extravasam, causando poluição ambiental (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2019).

Além disso, as conexões irregulares de águas pluviais no sistema de esgotos também podem provocar desequilíbrios no sistema biológico de tratamento, pela sobrecarga de vazão, causando prejuízos enormes ao processo.

É nesse sentido, que precisamos cuidar de todo o sistema, desde as instalações prediais, envolvendo as pessoas para usar adequadamente a infraestrutura disponibilizada. Atitudes simples como descartar corretamente o lixo, podem impactar toda a cadeia de serviços de saneamento e

comprometer a integridade física dos sistemas. De modo prático, o mau uso das instalações vai impactar uma estação de tratamento de esgotos já no tratamento preliminar, que prepara os esgotos as fases subsequentes, ou seja, se há problemas operacionais nessa fase do processo, todo ele pode ficar comprometido (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2019).

### 9.1.5 Sanear e Despoluir

As iniciativas apresentadas compõem uma amostra da abrangência das ações de educação sanitária e ambiental, seja por sua efetiva inserção no cotidiano das pessoas, alterando padrões de comportamento e promovendo melhoria da qualidade de vida, seja por seu potencial alcance, no que se refere à preservação do meio ambiente e dos recursos naturais.

Gimenes (2022) menciona que a busca pelo envolvimento da sociedade nas discussões e implementações das políticas públicas surge como uma aliada indispensável para que as ações implementadas atinjam os resultados almejados. Destaca que as literaturas mais recentes relacionadas à gestão urbana entendem que a participação da sociedade civil nos processos decisórios aproxima a população dos problemas, que passa a ser um dos atores na concretização de soluções e mudanças, proporcionando maior ganho relacionado à implementação de ações, no caso, de ações de saneamento.

Para que as ações de saneamento resultem em melhoria da saúde, da qualidade ambiental e da qualidade de vida, devem ser concebidas e implantadas de forma a respeitar a realidade de cada local, considerando a diversidade cultural das comunidades e populações, o que equivale a dizer de maneira simplificada, que as obras são para sanear e a educação e o envolvimento social são para despoluir e promover saúde (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

Gimenes (2022), em seus estudos sobre a prática da educação ambiental em aglomerados subnormais, evidenciou que quanto maior o envolvimento e comprometimento da sociedade a favor da melhoria da qualidade das águas dos córregos existentes no entorno dos locais onde residem, melhores e mais duradouros são os resultados obtidos, garantindo a eficácia das ações de saneamento e consequente incremento da qualidade de vida da população local.

Esse exemplo ilustra muito bem que para se conquistar os avanços e as melhorias ambientais almejadas é necessário o envolvimento de toda a sociedade. A questão não se resume em disponibilizar infraestrutura e dominar as tecnologias. O domínio das tecnologias, a concepção e operação de obras com base nos mais modernos conhecimentos de engenharia, não irão garantir sua efetividade, pois não há tecnologia capaz de fornecer desenvolvimento e conforto para uma população que ainda carece de acesso aos conceitos fundamentais de educação sanitária e ambiental.

Para que possamos usufruir das vantagens que um meio ambiente equilibrado e sadio pode proporcionar, é preciso que se invista em educação, pois como já se sabe, ela é a base que sustenta as transformações e os avanços da humanidade (PAGANINI e BOCCHIGLIERI, 2015).

## 9.2 O Profissional de Saúde Pública e o Saneamento

O profissional de saúde pública está apto a desenvolver projetos sociais e ambientais, apoiado em ações coletivas e na participação de cada indivíduo.

A partir de sua formação, adquiriu conhecimentos fundamentais no campo da saúde pública, que o possibilitam buscar referências socioculturais relacionadas aos grupos com os quais trabalha, adquirindo uma ampla visão, sob diferentes enfoques, das comunidades e ambientes em que atua.

Essas habilidades lhe permitem contribuir para a formação de cidadãos, e no que diz respeito às questões ambientais e ao saneamento, são peças importantes nesse processo, ao melhorar a percepção das pessoas em relação aos efeitos de suas ações sobre o ambiente e do ambiente sobre elas, ampliando a compreensão sobre a dimensão ambiental e sua importância sobre a saúde individual e coletiva, alertando sobre as responsabilidades e direitos envolvidos no convívio social e o papel de cada indivíduo nesse processo.

# Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004. Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.809. Resíduos de serviços de saúde - Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde instraestabelecimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.810. Resíduos de serviços de saúde - Gerenciamento extraestabelecimento - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.501. Transporte terrestre de produtos perigosos - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2013**. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 2013.
- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2016**. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 2016.
- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil – 2018/2019**. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 2019.
- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio

de Janeiro, v. 18, p. 115-122, 2013. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522013000200003&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000200003&nrm=iso)]. Acesso em: 10 dez. 2022.

AGÊNCIA IBGE DE NOTÍCIAS. **PNAD Contínua: de 2016 para 2017, Centro-Oeste puxa redução no abastecimento diário de água do país**, Brasília, 2018. Disponível em: [<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/20978-pnad-continua-de-2016-para-2017-centro-oeste-puxa-reducao-no-abastecimento-diario-de-agua-do-pais>]. Acesso em: 10 dez. 2022.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília: ANA, 2018.

AHERN, M. *et al.* Global Health Impacts of Floods: Epidemiologic Evidence. **Epidemiologic Reviews**, v. 27, n. 1, p. 36-46, 2005. Disponível em: [<https://doi.org/10.1093/epirev/mxi004>].

ALCANTARA, S. *et al.* Chemical Changes and Heavy Metal Partitioning in an Oxisol Cultivated with Maize (*Zea mays*, L.) after 5 Years Disposal of a Domestic and an Industrial Sewage Sludge. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 203, n. 1, p. 3-16, October 01 2009. Disponível em: [<https://doi.org/10.1007/s11270-009-9986-y>].

ALFIERI, L. *et al.* Modelling the socio-economic impact of river floods in Europe. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 16, p. 1401-1411, 2016. Disponível em: [<https://doi.org/10.5194/nhess-16-1401-2016>].

AMARAL E SILVA, C. C. **Poluição das águas e eutrofização**. [Tese de doutorado]. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 1972.

ARAÚJO, M. C. B. de; COSTA, M. F. da. Visual diagnosis of solid waste contamination of a tourist beach: Pernambuco, Brazil. **Waste Management**, v. 27, n. 6, p. 833-839, jan. 2007. Disponível em: [<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.018>].

ATHIAS, G. Falta de saneamento mata mais que crime. **Folha de São Paulo** (Cotidiano), São Paulo, 16 Jul 2000.

BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 37, n. 2, p. 129-164, 2007. Disponível em: [<https://doi.org/10.1080/10643380600776239>].

BARCELLOS, C.; SABROZA, P. C. The place behind the case: leptospirosis risks and associated environmental conditions in a flood-related outbreak in Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, p. S59-S67, 2001. Disponível em: [<https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000700014>]. Acesso em: 10 dez. 2022.

BARNES, D. K. A. Invasions by marine life on plastic debris. **Nature**, v. 416, p. 808, abr 2002. Disponível em: [<http://dx.doi.org/10.1038/416808a>].

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; ANDRADE NETO, C. O.; VON SPERLING, M. Utilização de esgotos tratados em irrigação: aspectos sanitários. In: BASTOS, R. K.

- X. (coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação; hidroponia e piscicultura** (Projeto PROSAB). Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 23-59
- BATALHA, B. H. L. **Fossa Séptica**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1989. 20 p.
- BATISTA, C. S. A. *et al.* Soroprevalência e fatores de risco para a leptospirose em cães de Campina Grande, Paraíba. Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 57, n. 1, p. 179-185, 2005. Disponível em: [<https://www.ingentaconnect.com/content/doi/01020935/2005/00000057/00000001/art00028>]. Acesso em: 10 dez. 2022.
- BELI, E. N.; OLIVEIRA, C. E. SALES, A.; SIQUEIRA, M.; MEDEIROS, M.; HUSSAR, G.; REIS, F. A. Recuperação da área degradada pelo lixão Areia Branca de Espírito Santo do Pinhal – SP. **Engenharia Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 135-148, 2005. Disponível em: [<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=35>]. Acesso em: 02 abr. 2018.
- BERGE, J. J. *et al.* The cost of hepatitis A infections in American adolescents and adults in 1997. **Hepatology**, v. 31, n. 2, p. 469-473, 2000. Disponível em: [<https://aasldpubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hep.510310229>]. Acesso em: 02 abr. 2018.
- BERTOLDI, M. The control of the process and compost quality. In: BIDLINGMAIER, W.; BERTOLDI, M.; DIAZ, L.; PAPADDIMITRIOU, F. K. (Eds.), **Organic recovery and biological treatment**. Berlin: Rhombos, 1999. p. 47-53.
- BHARTI, A. R. *et al.* Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 3, n. 12, p. 757-771, 2003. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1473309903008302>]. Acesso em: 10 abr. 2019.
- BIBERG-SALUM, T. G.; RODRIGUES, M. D. L. V. Saúde ocular dos povos indígenas do Brasil. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 49, n. 3, p. 8, 2016. Disponível em: [<http://www.journals.usp.br/rmrp/article/view/120284>]. Acesso em: 10 dez. 2021.
- BOCCHIGLIERI, M. M. **O Lixiviado dos Aterros Sanitários em Estações de Tratamento dos Sistemas Públicos de Esgotos**. [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2010.
- BOISSIER, J. *et al.* Outbreak of urogenital schistosomiasis in Corsica (France): an epidemiological case study. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 16, n. 8, p. 971-979, 2016. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1473309916001754>]. Acesso em: 10 dez. 2021.
- BOOTH, D. B. *et al.* Global perspectives on the urban stream syndrome. **Freshwater Science**, v. 35, n. 1, p. 412-420, 2016. Disponível em: [<https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/684940>]. Acesso em: 10 abr. 2021.
- BRAGA, B. (org.) *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental - O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 3. Reimpressão, 2007.
- BRAGA, C. *et al.* Avaliação de indicador socioambiental utilizado no rastreamento de áreas de transmissão de filariose linfática em espaços urbanos. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio

de Janeiro, v. 17, p. 1211-1218, 2001. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2001000500021&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2001000500021&nrm=iso)]. Acesso em: 02 abr. 2018.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: CETESB, 1977. 185p.

BRASIL, P.; LIMA, D. B. D.; MOURA, H. Microsporidiose humana na síndrome de imunodeficiência adquirida. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 43, p. 254-264, 1997. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-42301997000300014&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-42301997000300014&nrm=iso)]. Acesso em: 02 abr. 2021.

BRASIL. Constituição 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: [[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)]. Acesso em: 05 maio. 2023.

BRASIL. LEI nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências, **Diário Oficial da União** (DOU), Brasília, DF, 28 abr. 1999. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, **Diário Oficial da União** (DOU), Brasília, DF, 8.jan.2007 e retificado em 11.jan.2007. Seção 1, p.1. (Retificação).

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3.ago.2010. Seção 1, p.3.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, atualiza o marco legal do saneamento básico, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País... **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Edição 16 jul. 2020. Seção 1, p.1.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União** (DOU), Brasília, DF, 2 set 1981. Seção 1, p. 16509.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União** (DOU), Brasília, DF, 9 jan 1997. Seção 1, p. 470.

BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União** (DOU), Brasília, DF, 13 fev. 1998 e retificado em 17 fev 1998. Seção 1, p.1. (Retificação).

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu

padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Edição nº 85, 07 mai 2021. Seção 1, p.127.

BRASIL. Resolução ANVISA/DC nº 222, de 28 de março de 2018. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Edição nº 61, 29 mar. 2018. Seção 1, p.76.

BRISCOE, J. Abastecimiento de agua y servicios de saneamiento: su función em la revolución de la supervivência infantil. **Boletim de la Oficina Sanitária Panamericana**, v. 103, n. 4, p. 325-339, 1987. Disponível em: [<https://iris.paho.org/handle/10665.2/17947?locale-attribute=pt>]. Acesso em: 10 dez. 2020.

BUCKLE, G. C.; WALKER, C. L. F.; BLACK, R. E. Typhoid fever and paratyphoid fever: Systematic review to estimate global morbidity and mortality for 2010. **Journal of Global Health**, v. 2, n. 1, p. 010401, 2012.

CABARET, J. *et al.* The use of urban sewage sludge on pastures: the cysticercosis threat. **Veterinary Research.**, v. 33, n. 5, p. 575-597, 2002. Disponível em: [<https://doi.org/10.1051/vetres:2002040>].

CAIRUS, H. F. Ares, águas e lugares. In: CAIRUS, H. F.; RIBEIRO, J. R. **Textos hipocráticos: o doente, o médico e a doença**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2005. (História e Saúde Collection).

CAMPOS, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo** (Projeto PROSAB). Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.

CAO, H. *et al.* Utilization of lime-dried sludge for eco-cement clinker production: effects of different feeding points. **Water Science and Technology**, v. 77, n. 4, p. 960-970, 2018. Disponível em: [<https://doi.org/10.2166/wst.2017.604>]. Acesso em: 02 dez. 2021.

CARBERRY, M.; O'CONNOR, W.; PALANISAMI, T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. **Environment International**, v. 115, p. 400-409, 2018. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412017322298>. Acesso em: 02 dez. 2021.

CARDONA-OSPINA, J. A.; DIAZ-QUIJANO, F. A.; RODRÍGUEZ-MORALES, A. J. Burden of chikungunya in Latin American countries: estimates of disability-adjusted life-years (DALY) lost in the 2014 epidemic. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 38, p. 60-61, 2015. Disponível em: [<https://doi.org/10.1016/j.ijid.2015.07.015>].

CASEMORE, D. P. Foodborne protozoal infection. **The Lancet**, v. 336, n. 8728, p. 1427-1432, 1990. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673690931156>]. Acesso em: 02 dez. 2022.

CAVINATTO, A. S.; PAGANINI, W. S. Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo: estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 42-51, jan/mar 2007.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: Apêndice C –** Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, 2020.

CHAUDHRY, S. A.; VERMA, N.; KOREN, G. Hepatitis E infection during pregnancy. **Canadian Family Physician**, v. 61, n. 7, p. 607-608, 2015.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. 246 p.

CHIANG, K.-Y. *et al.* Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, n. 1, p. 76-82, 2009. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409008772>].

CHITSULO, L. *et al.* The global status of schistosomiasis and its control. **Acta Tropica**, v. 77, n. 1, p. 41-51, 2000. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001706X00001224>] Acesso em: 02 dez. 2021.

CLEMENS, S. A. C. *et al.* Soroprevalência para hepatite A e hepatite B em quatro centros no Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 33, p. 01-10, 2000. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0037-86822000000100001&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0037-86822000000100001&nrm=iso)] Acesso em: 10 dez. 2021.

COELHO, P. M. Z.; CALDEIRA, R. L. Critical analysis of molluscicide application in schistosomiasis control programs in Brazil. **Infectious Diseases of Poverty**, v. 5, n. 1, p. 57, 2016. Disponível em: [<https://doi.org/10.1186/s40249-016-0153-6>].

COLLEY, D. G. *et al.* Human schistosomiasis. **The Lancet**, v. 383, n. 9936, p. 2253-2264, 2014. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673613619492>] Acesso em: 02 nov. 2021.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União (DOU)** nº 136, Brasília, DF, 17 jul 2002, p. 95-96.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União (DOU)** nº 53, Brasília, DF, 3 mai 2005, p. 58-63. 2005a.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 359 de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó para uso em todo o território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União (DOU)** nº 83, Brasília, DF, 18 mar 2005, p. 63. 2005b.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, com-

- plementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União (DOU)** nº 92, Brasília, DF, 16 mai 2011, p. 89. 2011.
- CRUMP, J. A.; LUBY, S. P.; MINTZ, E. D. The global burden of typhoid fever. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 82, n. 5, p. 346-353, 2004. Disponível em: [<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2622843/>] Acesso em: 03 dez. 2021.
- CRUMP, J. A.; MINTZ, E. D. Global Trends in Typhoid and Paratyphoid Fever. **Clinical Infectious Diseases**, v. 50, n. 2, p. 241-246, 2010. Disponível em: [<http://dx.doi.org/10.1086/649541>].
- CURRIERO, F. C. *et al.* The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994. **American Journal of Public Health**, v. 91, n. 8, p. 1194-1199, 2001.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 232 p.
- DEVLEESSCHAUWER, B. *et al.* DALY calculation in practice: a stepwise approach. **International Journal of Public Health**, v. 59, n. 3, p. 571-574, jun. 2014. Disponível em: [<https://doi.org/10.1007/s00038-014-0553-y>].
- DÍAZ-GRANADOS, M. *et al.* Towards a Paradigm Shift in Urban Drainage Management and Modelling in Developing Countries. **Revista de Ingeniería**, v. 30, p. 133-150, 2009. Disponível em: [<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015710010>] Acesso em: 03 nov. 2022.
- DORNY, P. *et al.* Emerging food-borne parasites. **Veterinary Parasitology**, v. 163, n. 3, p. 196-206, 2009. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304401709003161>] Acesso em: 03 nov. 2022.
- EASSA, S. M. *et al.* Risk Factors Associated with Parasitic Infection Among Municipality Solid-Waste Workers in an Egyptian Community. **Journal of Parasitology**, v. 102, n. 2, p. 214-221, 2016. Disponível em: [<https://doi.org/10.1645/15-782>].
- ECHEVARRÍA, M. A.; EVA, M. L. Cryptosporidium and Cyclospora Diarrheal Infection in Malnourished Children: a Nutritional Approach. **Current Tropical Medicine Reports**, v. 4, n. 3, p. 178-183, 2017. Disponível em: [<https://doi.org/10.1007/s40475-017-0122-6>].
- EDGAR4-DATABASE, 2009: Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.0. European Commission. Joint Research Centre (JRC). **Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL)**, 2009. Disponível em: [<http://edgar.jrc.ec.europa.eu>] Acesso em: 11 dez. 2021.
- ELANGO VAN, C.; SUBRAMANIAN, K. Reuse of alum sludge in clay brick manufacturing. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 11, n. 3, p. 333-341, 2011. Disponível em: [<https://doi.org/10.2166/ws.2011.055>] Acesso em: 20 dez. 2021.

ELLIOTT, H. A.; DEMPSEY, B. A. Agronomic Effects of Land Application of Water Treatment Sludges. **Journal American Water Works Association**, v. 83, n. 4, p. 126-131, 1991. Disponível em: [<http://www.jstor.org/stable/41293206>] Acesso em: 10 dez. 2021.

ELLIS, J. B.; HVITVED-JACOBSEN, T. Urban drainage impacts on receiving waters. **Journal of Hydraulic Research**, v. 34, n. 6, p. 771-783, 1996. Disponível em: [<https://doi.org/10.1080/00221689609498449>].

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Facts and figures. **Municipal Solid Waste in the United States**. Washington, DC: EPA, 2011. Disponível em: [<http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/msw99.htm>] Acesso em 03 nov. 2021.

ESDAILE, L. J.; CHALKER, J. M. The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. **Chemistry Europe**, v. 24, n. 27, p. 6905-6916, 2018. Disponível em: [<https://doi.org/10.1002/chem.201704840>].

FARIA, N. R. *et al.* Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. **Science**, v. 352, n. 6283, p. 345-349, 2016. Disponível em: [<http://science.sciencemag.org/content/sci/early/2016/03/23/science.aaf5036.full.pdf>] Acesso em: 15 set. 2022.

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

FRAGA, I. *et al.* A novel modelling framework to prioritize estimation of non-point source pollution parameters for quantifying pollutant origin and discharge in urban catchments. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 75-84, 2016. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715303571>] Acesso em: 10 nov. 2021.

FRYD, O.; DAM, T.; JENSEN, M. B. A planning framework for sustainable urban drainage systems. **Water Policy**, v. 14, n. 5, p. 865-886, 2012. Disponível em: [<https://doi.org/10.2166/wp.2012.025>].

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. 4. ed. – Brasília: FUNASA, 2015. 642 p.

GAGO, E. J.; ROLDAN, J.; PACHECO-TORRES, R.; ORDÓÑEZ, J. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects, Renewable and Sustainable **Energy Reviews**, v. 25, p. 749-758, 2013. Disponível em: [<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>].

GAIDA, B.; SCHÜTTMANN, I.; MAHRO, B.; ZORN, H. Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotenzial der deutschen Lebensmittel-und Biotechnik-Industrie. **Chem Ing Tech**, v. 84, p.191-1191, 2012.

GALSTER, J. C. *et al.* Effects of urbanization on watershed hydrology: The scaling of discharge with drainage area. **Geology**, v. 34, n. 9, p. 713-716, 2006. Disponível em: [<https://doi.org/10.1130/G22633.1>].

GBD - GLOBAL BURDEN OF DISEASE STUDY. **Data Resources**, 2017. Disponível em: [<https://ghdx.healthdata.org/gbd-2017>]. Acesso em: 10 jan. 2020.

- GIMENES, M. **Educação ambiental como instrumento da gestão do saneamento em aglomerados subnormais**. [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2022.
- GREGOIRE, C. *et al.* Mitigation of agricultural nonpoint-source pesticide pollution in artificial wetland ecosystems. **Environmental Chemistry Letters**, v. 7, n. 3, p. 205-231, 2009. Disponível em: [<https://doi.org/10.1007/s10311-008-0167-9>].
- GUBLER, D. J. Epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century. **Trends in Microbiology**, v. 10, n. 2, p. 100-103, 2002. Disponível em: [[http://dx.doi.org/10.1016/S0966-842X\(01\)02288-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0966-842X(01)02288-0)].
- GUPTA, N.; KHAN, D. K.; SANTRA, S. C. Prevalence of intestinal helminth eggs on vegetables grown in wastewater-irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. **Food Control**, v. 20, n. 10, p. 942-945, 2009. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713509000449>] Acesso em: 21 set. 2021.
- HAMER, D. H. *et al.* Fatal Yellow Fever in Travelers to Brazil, 2018. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 67, n. 11, p. 340-341, 2018.
- HANCOCK, G. S.; HOLLEY, J. W.; CHAMBERS, R. M. A Field-Based Evaluation of Wet Retention Ponds: How Effective Are Ponds at Water Quantity Control? **Journal of the American Water Resources Association**, n. 46, p. 1145-1158, 2010. Disponível em: [<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00481.x>].
- HARGREAVES, J. C.; ADL, M. S.; WARMAN, P. R. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 123, n. 1, p. 1-14, 2008. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880907001909>] Acesso em: 13 dez. 2021.
- HATT, B. E.; FLETCHER, T. D.; DELETIC, A. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. **Journal of Hydrology**, v. 365, n. 3-4, p. 310-321, 2009. Disponível em: [<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.001>].
- HAYES, E. B. *et al.* Virology, Pathology, and Clinical Manifestations of West Nile Virus Disease. **Emerging Infectious Diseases**, v. 11, n. 8, p. 1174-1179, 2005.
- HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 3, n. 2, p.73-84, 1998.
- HELLER, L. **Saneamento e Saúde**. OPAS/OMS. Representação do Brasil. Brasília, 1997. 102 p. .
- HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016. 418 p.
- HONG, J.; LI, X. Environmental assessment of sewage sludge as secondary raw material in cement production – A case study in China. **Waste Management**, v. 31, n. 6,

p. 1364-1371, 2011. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11000080>] Acesso em: 12 set. 2021.

HONÓRIO, N. A. *et al.* Chikungunya: uma arbovirose em estabelecimento e expansão no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 31, p. 906-908, 2015. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2015000500003&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2015000500003&nrm=iso)] Acesso em: 10 set. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico**, 2010. Disponível em: [<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=destaques>] Acesso em: 11 set. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tábua completa de mortalidade para o Brasil – 2016. **Breve análise da evolução da mortalidade no Brasil**. 2017. 23 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de saneamento**: abastecimento de água e esgotamento sanitário, 2021. Disponível em: [<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=280933>]. Acesso em: 11 set. 2022.

IHME - INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION. **Mortality Visualization**. Seattle, WA: IHME, University of Washington, 2017. Disponível em: [<http://vizhub.healthdata.org/mortality/>]. Acesso em: 08 ago. 2018.

IOOS, S. *et al.* Current Zika virus epidemiology and recent epidemics. **Médecine et Maladies Infectieuses**, v. 44, n. 7, p. 302-307, 2014. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0399077X14001085>] Acesso em: 10 set. 2022.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo** (Cadernos de Educação Ambiental, 1). São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2009.

ITTIRAVIVONGS, A. *et al.* **Assessment of sanitation conditions by qualitative sanitation measurement**. Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health, v. 23, n. 2, 1992. Disponível em: [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1359649/>] Acesso em: 11 set. 2022.

JACOBSEN, K. H. Globalization and the Changing Epidemiology of Hepatitis A Virus. **Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine**, 2018. Disponível em: [<http://perspectivesinmedicine.cshlp.org/content/early/2018/03/02/cshperspect.a031716.abstract>] Acesso em: 10 set. 2022.

JAMBECK, J. R. *et al.* Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015. Disponível em: [<http://science.sciencemag.org/content/sci/347/6223/768.full.pdf>] Acesso em: 20 set. 2022.

- JOHNSON, O. A.; NAPIAH, M.; KAMARUDDIN, I. Potential uses of Waste Sludge in Construction Industry: A Review. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 8, n. 4, p. 565-570, 2014.
- KALE, S. S. *et al.* Evaluating pollution potential of leachate from landfill site, from the Pune metropolitan city and its impact on shallow basaltic aquifers. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 162, n. 1, p. 327-346, 2010. Disponível em: [<https://doi.org/10.1007/s10661-009-0799-7>].
- KEISER, J. *et al.* Effect of irrigation and large dams on the burden of malaria on a global and regional scale. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 72, n. 4, p. 392-406, 2005. Disponível em: [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15827275/>] Acesso em: 21 out. 2022.
- KHALIL, I. A. *et al.* Morbidity, mortality, and long-term consequences associated with diarrhoea from Cryptosporidium infection in children younger than 5 years: a meta-analysis study. **The Lancet Global Health**, v. 6, n. 7, p. e758-e768, 2018. Disponível em: [[http://dx.doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30283-3](http://dx.doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30283-3)].
- KINCAID-SMITH, J. *et al.* Emerging Schistosomiasis in Europe: A Need to Quantify the Risks. **Trends in Parasitology**, v. 33, n. 8, p. 600-609, 2017. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1471492217301101>] Acesso em: 09 jul. 2018.
- KRAWCZYNSKI, K.; KAMILI, S.; AGGARWAL, R. Global epidemiology and medical aspects of hepatitis E. **Forum**, v. 11, n. 2, p. 166-179, 2001. Disponível em: [<http://europe-pmc.org/abstract/MED/11948361>] Acesso em: 02 out. 2021.
- KUNTSCHIK, D. P.; EDUARTE, M.; UEHARA, T. H. K. **Matas ciliares**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente (Cadernos de Educação Ambiental, 7), 2. ed. São Paulo: SMA, 2014.
- LA LOGGIA, G.; PULEO, V.; FRENI, G. Floodability: A New Paradigm for Designing Urban Drainage and Achieving Sustainable Urban Growth. **Water Resour Manage**, v. 34, p. 3411–3424, 2020. Disponível em: [<https://doi.org/10.1007/s11269-020-02620-6>].
- LEBRETON, L. *et al.* Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 4666, 2018. Disponível em: [<https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>].
- LEMOS, S. Dados da ONU mostram que 15 mil pessoas morrem por doenças ligadas à falta de saneamento. **Jornal da USP**, São Paulo, 21 Jul. 2020. Atualidades. Disponível em: [<https://jornal.usp.br/?p=339384>]. Acesso em: 18 set. 2021.
- LIANG, S. *et al.* Re-emerging schistosomiasis in hilly and mountainous areas of Sichuan, China. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 84, n. 2, p. 139-144, 02/23 2006. Disponível em: [<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2626530/>] Acesso em: 18 set. 2021.
- LIM, S. R.; SCHOENUNG, J. M. Human health and ecological toxicity potentials due to heavy metal content in waste electronic devices with flat panel displays. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1, p. 251-259, 2010. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409019967>] Acesso em: 18 set. 2021.

LUSTE, S.; LUOSTARINEN, S. Anaerobic co-digestion of meat-processing by-products and sewage sludge – Effect of hygienization and organic loading rate. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 8, p. 2657-2664, 2010. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409014473>] Acesso em: 18 set. 2021.

MACNAMARA, F. N. Zika virus: A report on three cases of human infection during an epidemic of jaundice in Nigeria. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 48, n. 2, p. 139-145, 1954. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0035920354900061>] Acesso em: 10 set 2021.

MARINHO, F. *et al.* Burden of disease in Brazil, 1990–2016: a systematic subnational analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. **The Lancet**, v. 392, n. 10149, p. 760-775, 2018. Disponível em: [[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31221-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31221-2)].

MARTINS-MELO, F. R. *et al.* The burden of Neglected Tropical Diseases in Brazil, 1990–2016: A subnational analysis from the Global Burden of Disease Study 2016. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 12, n. 6, p. e0006559, 2018. Disponível em: [<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006559>].

MASSAD, E. *et al.* Dengue and the risk of urban yellow fever reintroduction in São Paulo State, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 37, p. 477-484, 2003. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89102003000400013&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102003000400013&nrm=iso)] Acesso em: 10 set. 2022.

McJUNKIN, F. E. **Água y Salud Humana**. México: Editorial Limusa, 1986, 231 p.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Doenças tropicais negligenciadas**, 2021. Disponível em: [[https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/especiais/2021/boletim\\_especial\\_doencas\\_negligenciadas.pdf](https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/especiais/2021/boletim_especial_doencas_negligenciadas.pdf)]. Acesso em: 11 out. 2021.

MITCHELL, G. Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning. **Journal of Environmental Management**, v. 74, n. 1, p. 1-9, 2005. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479704001756>] Acesso em: 11 out. 2021.

MOGASALE, V. *et al.* Burden of typhoid fever in low-income and middle-income countries: a systematic, literature-based update with risk-factor adjustment. **The Lancet Global Health**, v. 2, n. 10, p. e570-e580, 2014. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214109X14703018>] Acesso em: 11 out. 2021.

MOL, M. P. G. *et al.* Is waste collection associated with hepatitis B infection? A meta-analysis. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 50, p. 756-763, 2017. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0037-86822017000600756&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0037-86822017000600756&nrm=iso)] Acesso em: 12 nov. 2021.

- MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.
- MOR, S. *et al.* Leachate Characterization and Assessment of Groundwater Pollution Near Municipal Solid Waste Landfill Site. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 118, n. 1, p. 435-456, 2006. Disponível em: [<https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7>].
- MORAES, L. R. S.; CANCIO, J. A.; CAIRNCROSS, S. Impact of drainage and sewerage on intestinal nematode infections in poor urban areas in Salvador, Brazil. Transactions of The Royal Society of **Tropical Medicine and Hygiene**, v. 98, n. 4, p. 197-204, 2004. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0035-9203\(03\)00043-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0035-9203(03)00043-9).
- MOREIRA, T. Saneamento Básico: desafios e Oportunidades. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 6, p. 157-172, 1996.
- MUSSO, D.; CAO-LORMEAU, V. M.; GUBLER, D. J. Zika virus: following the path of dengue and chikungunya? **The Lancet**, v. 386, n. 9990, p. 243-244, 2015. Disponível em: [[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)61273-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)61273-9)].
- NAGHAVI, M. *et al.* Global, regional, and national age-sex specific mortality for 264 causes of death: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. **The Lancet**, v. 390, n. 10100, p. 1151-1210, 2017. Disponível em: [[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32152-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32152-9)].
- NARDOCCI, A. C.; ROCHA, A. A.; RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V.; COLACIOPPO, S.; PAGANINI, W. S. Saúde Ambiental e Ocupacional. In: ROCHA, A. A.; GALVÃO CESAR, C. L. (org.). **Saúde Pública: bases conceituais**. São Paulo: Atheneu, 2008, p. 69-101.
- NAVARRO, M. C. *et al.* Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 96, n. 2, p. 183-193, 2008. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674207000519>] Acesso em: 13 out. 2022.
- NIHONMATSU, M. M. B. **A influência do recebimento de chorume dos aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo nas estações de tratamento de esgotos do sistema integrado**. 2005. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- NOVOTNY, V. Non-Point Pollution and Urban Stormwater Management. **Water Quality Management Library**. Basel: Technomic Publishing, 1995. 450 p.
- ODM BRASIL. Mais pessoas têm acesso à água potável no mundo, mas carências ainda são imensas, alerta ONU. Brasília, 2012. Disponível em: [<http://www.odmbrasil.gov.br/noticias/2012/maio/mais-pessoas-tem-acesso-a-agua-potavel-no-mundo-mas-carencias-ainda-sao-imensas-alerta-onu>]. Acesso em: 09 out. 2019.
- OHTAKE, Y. *et al.* Studies on biodegradation of LDPE — observation of LDPE films scattered in agricultural fields or in garden soil. **Polymer Degradation and Stability**, v.

60, n. 1, p. 79-84, 1998. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391097000323>] Acesso em: 09 out. 2019.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, v. 27, p. 185-200, 2013. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142013000100014&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100014&nrm=iso)] Acesso em: 09. out. 2019.

OLIVEIRA, W. E. Importância do abastecimento de água na transmissão de doenças. In: AZEVEDO NETTO *et al.* **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 2. ed., v. 1. São Paulo: CETESB, 1987a. p. 1-28.

OLIVEIRA, W. E. Qualidade, impurezas, e características físicas, químicas e biológicas das águas. Padrões de Potabilidade. Controle da Qualidade da Água. In: AZEVEDO NETTO *et al.* **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 2. ed., v. 1. São Paulo: CETESB, 1987b. p. 29-68.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Water, Sanitation and Health Team. Water treatment and pathogen control: process efficiency in achieving safe drinking water**, 2004. Disponível em: [<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42796/9241562552.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]. Acesso em: 11 jan. 2019.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Risk assessment of cryptosporidium in drinking water**, 2009. Disponível em: [[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70117/WHO\\_HSE\\_WSH\\_09.04\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70117/WHO_HSE_WSH_09.04_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)]. Acesso em: 11 jan. 2019.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Monitoramento e avaliação epidemiológica da intervenção com tratamentos coletivos: manual para programas nacionais de eliminação da filariose**, 2015. Disponível em: [[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44580/9789248501487\\_por.pdf?sequence=8](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44580/9789248501487_por.pdf?sequence=8)]. Acesso em: 02 jun. 2020.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Agenda 21** - Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472 p. Disponível em: [[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/528199/mod\\_resource/content/0/Agenda%2021.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/528199/mod_resource/content/0/Agenda%2021.pdf)]. Acesso em: 09 abr. 2019.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**, 2015. Disponível em: [<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>]. Acesso em: 18 abr. 2019.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. 2. ed. São Paulo/SP: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. v. 1. 232 p.

PAGANINI, W. S. **Efeitos da disposição de esgotos no solo**. [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2001.

PAGANINI, W. S. Reúso de água na agricultura. In: PHILIPPI JR, A. (coord); MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Org.). **Reúso de Água**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2007. p. 339-401.

- PAGANINI, W. S. Reúso agrícola – uma alternativa de utilização sustentável dos serviços ambientais. **Saneas**, São Paulo, ano IX, n. 28, p. 46 - 47, 2008.
- PAGANINI, W. S. Alternativas para a disposição final de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgotos. **Saneas**, São Paulo, v. 32, p. 13-19, 2009.
- PAGANINI, W. S.; BOCCHIGLIERI, M. M. A legislação sobre resíduos sólidos e sua implicação no saneamento e na saúde pública: análise crítica para o Estado de São Paulo, Brasil. In: APESB - Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental e Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2011. (Org.). **Energia dos Resíduos**. Anais... 7. ed. Porto: APESB, 2011.
- PAGANINI, W. S.; BOCCHIGLIERI, M. M. Educação Sanitária e Ambiental no Saneamento. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. Anais... **Alterações Climáticas e a Gestão do Saneamento Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2015.
- PAGANINI, W. S.; BOCCHIGLIERI, M. M. Utilização correta das instalações sanitárias: resultados efetivos do saneamento. In: Seminário Nacional ETES Sustentáveis, Fortaleza. **Anais...** Belo Horizonte: INCT, 2019. 504 p.
- PAGANINI, W. S.; BOCCHIGLIERI, M. M. O Novo Marco Legal do Saneamento: universalização e saúde pública. **Revista USP**, São Paulo, n. 128 p. 45-60, 2021. Disponível em: [<https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i128p45-60>]
- PAHO - PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. **Strategies for extending and improving potable water supply and excreta disposal services during the decade of the 1980s**. Washington: Pan American Health Organization, 1979. 47 p.
- PAPPAS, G. *et al.* The globalization of leptospirosis: worldwide incidence trends. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 12, n. 4, p. 351-357, 2008. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1201971207001956>] Acesso em: 11 set. 2021.
- PARKER, J. Images of Health, Urban Design and Human Well-Being. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 39, n. 2, p. 191-197, 1990. Disponível em: [<http://www.jstor.org/stable/2348542>] Acesso em: 19 dez. 2021.
- PAUVOLID-CORRÊA, A.; VARELLA, R. B. Aspectos epidemiológicos da Febre do Oeste do Nilo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 11, p. 463-472, 2008. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-790X2008000300013&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2008000300013&nrm=iso)] Acesso em: 19 dez. 2021.
- PEREIRA, T. M. *et al.* Hepatitis A seroprevalence in preschool children in Assis Brazil, Acre, Brazil, in 2003 and 2010. **International Health**, v. 8, n. 2, p. 132-141, 2016. Disponível em: [<http://dx.doi.org/10.1093/inthealth/ihv041>].
- PESSOA, C. A; JORDÃO, E. J. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017. 1087 p.

- PETERSEN, L. R.; POWERS, A. M. Chikungunya: epidemiology. **F1000Research**, London, v. 5, p. F1000 Faculty Rev-82, 2016. Disponível em: [<https://doi.org/10.12688/f1000research.7171.1>]
- PFEIFFER, W. C. *et al.* Environmental fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. **Environmental Reviews**, v. 1, n. 1, p. 26-37, 1993. Disponível em: [<https://doi.org/10.1139/a93-004>].
- PIVELI, R. P. **Tratamento de Esgotos Sanitários**. Apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (área de concentração Hidráulica) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.
- PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2006. 285 p.
- PORTO, M. F. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH; Editora da UFRGS, 1995, p. 387-414.
- PRODANOFF, J. H. A; MASCARENHAS, F. C. B. Urban Water Quality after Flooding. In: PINA FILHO, A. C.; PINA, A. C. (org.). **Methods and Techniques in Urban Engineering**. 1. ed. Croatia: Intech, 2010. p. 161-180.
- QUEVEDO, C. M. G; PAGANINI, W. S. A disponibilização de fósforo nas águas pelo uso de detergentes em pó: aspectos ambientais e de Saúde Pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, n. 11, p. 3891-3902, 2018. Disponível em: [<https://doi.org/10.1590/1413-812320182311.27062016>].
- QUEVEDO, C. M. G; PAGANINI, W. S. Detergents as a source of phosphorus in sewage: the current situation in Brazil. **Water, Air, & Soil Pollut**, v. 227, n. 1:14, 2016. Disponível em: [<https://doi.org/10.1007/s11270-015-2700-3>].
- RAMIREZ-LLODRA, E. *et al.* Man and the Last Great Wilderness: Human Impact on the Deep Sea. **PLOS ONE**, v. 6, n. 8, p. e22588, 2011. Disponível em: [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022588>].
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JUNIOR, B. P. F.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil**. São Paulo: São Paulo Escrituras, 2002. 703 p.
- RIBEIRO, H.; GÜNTHER, W. M. R. A integração entre a educação ambiental e o saneamento ambiental como estratégia para a promoção da saúde e do meio ambiente sustentado. In: I Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública. **Mostra de Experiências/Soluções Bem-sucedidas**. FUNASA, 2010.
- RIOS, L. M.; MOORE C.; JONES, P. R. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 54, n. 8, p. 1230–1237, 2007. Disponível em: [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X07001324>] Acesso em: 11 dez. 2022.

- RIPPEY, S. R. Infectious diseases associated with molluscan shellfish consumption. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 7, n. 4, p. 419-425, 1994. Disponível em: [http://cmr.asm.org/content/7/4/419.abstract] Acesso em 10 out. 2021.
- RODENHUIS-ZYBERT, I. A.; WILSCHUT, J.; SMIT, J. M. Dengue virus life cycle: viral and host factors modulating infectivity. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 67, n. 16, p. 2773-2786, 2010. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/s00018-010-0357-z].
- ROSA, A. P. *et al.* Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant. **Renewable Energy**, v. 124, p. 21-26, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.025].
- ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (Tratamento de Água), v. 2. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.
- ROY, E. D. *et al.* The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, v. 2, n. 16043, 2016. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1038/nplants.2016.43].
- RUDGE, J. W. *et al.* Identifying host species driving transmission of schistosomiasis japonica, a multihost parasite system, in China. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 28, p. 11457-11462, 2013. Disponível em: [http://www.pnas.org/content/pnas/110/28/11457.full.pdf] Acesso em: 10 out. 2022.
- SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma Técnica Sabesp NTS 025** - Projeto De Redes Coletoras de Esgotos – Procedimento (Rev.1). São Paulo, jul. 2006.
- SAMPAIO, A. O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, n. 193, p. 16-27, 2013. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109].
- SÃO PAULO (Estado). Decreto Nº 8.468, de 08 de setembro de 1976 (Atualizado com redação dada pelo Decreto 54.487, de 26/06/09). Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, Diário Oficial - Executivo, 09 set 1976, 4 p.
- SCLIAR, M. História do conceito de saúde. **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n 1, 2007. Disponível em: [https://doi.org/10.1590/S0103-73312007000100003]
- SCHOLTE, R. G. C. *et al.* Predictive risk mapping of schistosomiasis in Brazil using Bayesian geostatistical models. **Acta Tropica**, v. 132, p. 57-63, 2014. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001706X13003598].
- SCHOLZ, M.; GRABOWIECKI, P. Review of permeable pavement systems. **Building and Environment**, v. 42, n. 11, p. 3830-3836, 2007. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.016].

SEGRE, M.; FERRAZ, F. C. O conceito de saúde. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 538-42, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1590/S0034-89101997000600016].

SHAFIK, N. Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis. **Oxford Economic Papers**, v. 46, p. 757-773, 1994. Disponível em: [http://www.jstor.org/stable/2663498] Acesso em: 13 dez. 2022.

SIDHU, S. *et al.* Endocrine disrupting chemical emissions from combustion sources: diesel particulate emissions and domestic waste open burn emissions. **Atmospheric Environment**, v. 39, n. 5, p. 801-811, 2005. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231004010349] Acesso em: 19 nov. 2021.

SIDRA - SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. 2018. Disponível em [https://sidra.ibge.gov.br/tabela/898]. Acesso em: 09 out. 2018.

SILVA JÚNIOR, J. V. J. *et al.* Perspectives on the Zika outbreak: herd immunity, antibody-dependent enhancement and vaccine. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 59, 2017. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0036-46652017005000601&nrm=iso] Acesso em: 19 out. 2021.

SMOL, M. *et al.* The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 95, p. 45-54, 2015. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261500164X] Acesso em: 04 abr. 2021.

SNOW, J.; BONFIM J. R. A. **Sobre a maneira de transmissão do cólera**. São Paulo: HUCITEC/ ABRASCO, 1990, 249 p.

SOLBERG, K. E. Trade in medical waste causes deaths in India. **The Lancet**, v. 373, n. 9669, p. 1067, 2009. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673609606322] Acesso em: 04 abr. 2021.

SORRENTINO, M. *et al.* Educação ambiental como política pública. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 2, 2005. Disponível em: [https://doi.org/10.1590/S1517-97022005000200010]

SOSNOWSKI, P.; WIECZOREK, A.; LEDAKOWICZ, S. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes. **Advances in Environmental Research**, v. 7, n. 3, p. 609-616, 2003. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1093019102000497] Acesso em: 04 abr. 2021.

SPEICH, B. *et al.* Effect of sanitation and water treatment on intestinal protozoa infection: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 16, n. 1, p. 87-99, 2016. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1473309915003497] Acesso em: 11 abr. 2021.

STEINMANN, P. *et al.* Schistosomiasis and water resources development: systematic review, meta-analysis, and estimates of people at risk. **The Lancet Infectious Diseases**, v.

- 6, n. 7, p. 411-425, 2006. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1473309906705217>] Acesso em: 11 abr. 2021.
- STEVANUX, A.C. *et al.* Floods in Urban Areas of Brazil. Editor(s): LATRUBESSE, E. M. *Developments in Earth Surface Processes*, Elsevier, v. 13, p. 245-266, 2009. Disponível em: [<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092820250810013X>] Acesso em: 21 abr. 2021.
- ST-HILAIRE, A.; DUCHESNE, S.; ROUSSEAU, A. N. Floods and water quality in Canada: A review of the interactions with urbanization, agriculture and forestry. **Canadian Water Resources Journal**, v. 41 n. 1-2, p. 273-287, 2016. Disponível em: [<https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1010181>]
- TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. A review on the viable technology for construction waste recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 47, n. 3, p. 209-221, 2006. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344905001746>] Acesso em: 21 abr. 2021.
- TEIXEIRA, S. R. *et al.* Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. **Cerâmica**, v. 52, p. 215-220, 2006. Disponível em: [[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132006000300016&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132006000300016&nrm=iso)] Acesso em: 21 out. 2021.
- TRAN, N. H.; GIN, K. Y. H.; NGO, H. H. Fecal pollution source tracking toolbox for identification, evaluation and characterization of fecal contamination in receiving urban surface waters and groundwater. **Science of The Total Environment**, v. 538, p. 38-57, 2015. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715304964>] Acesso em: 10 out. 2021.
- UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Division of Technology, Industry and Economics, Chemicals Branch International Environment House. **Global Mercury Assessment: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport**. Geneva: UNEP Chemicals Branch, 2013. Disponível em: [<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7984>] Acesso em: 21 dez. 2021.
- USEPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Environmental pollution control alternatives: drinking water treatment for small communities**. Cincin: EPA, 1990. 82 p.
- VAN LIER, J. B. *et al.* New perspectives in anaerobic digestion. **Water Science and Technology**, v. 43, n. 1, p. 1, 2001. Disponível em: [<http://wst.iwaponline.com/content/43/1/1.abstract>] Acesso em: 13 nov. 2021.
- VASCONCELOS, T. P.; MONATH, P. F. C. Yellow Fever Remains a Potential Threat to Public Health. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases**, v. 16, n. 8, p. 566-567, 2016. Disponível em: [<https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/vbz.2016.2031>] Acesso em: 21 nov. 2021.
- VERWORN, H. R. Advances in urban–drainage management and flood protection. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 360, p. 1451-1460, 2002. Disponível em: [<https://doi.org/10.1098/rsta.2002.1009>].

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2014 (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 1).

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade e ao tratamento de esgotos**. Apostila do Curso Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. São Paulo, 2019.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2017 (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias).

WAGNER, E. G.; LANOIX, J.N.; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Excreta Disposal for Rural Areas and Small Communities**. World Health Organization, 1958. Disponível em: [<https://apps.who.int/iris/handle/10665/41687>] Acesso em: 12 nov. 2021.

WANG, M. C. *et al.* Engineering Behavior of Water Treatment Sludge. **Journal of Environmental Engineering**, v. 118, n. 6, p. 848-864, 1992. Disponível em: [<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9372%281992%29118%3A6%28848%29%28X%29>] Acesso em: 21 abr. 2021.

WARAH, R. **The state of the World's cities: Urban Waste**. Washington, DC: The World Bank, 2001.

WHEELER, C. *et al.* An Outbreak of Hepatitis A Associated with Green Onions. **New England Journal of Medicine**, v. 353, n. 9, p. 890-897, 2005. Disponível em: [<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa050855>] Acesso em: 23 out. 2021.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Malaria Report**, 2015. Disponível em: [[http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/200018/9789241565158\\_eng.pdf;jsessionid=C2EAD7B3A0D6ED3DB0F860CCB9C76F1F?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/200018/9789241565158_eng.pdf;jsessionid=C2EAD7B3A0D6ED3DB0F860CCB9C76F1F?sequence=1)] Acesso em: 21 jul. 2022.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines on sanitation and health**. Geneva: WHO, 2018. Disponível em: [<https://www.who.int/publications/i/item/9789241514705>] Acesso em: 23 out. 2021.

WIEDINMYER, C.; YOKELSON, R. J.; GULLETT, B. K. Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter, and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste. **Environmental Science and Technology**, v. 48, n. 16, p. 9523-9530, 2014.

WORAWIWAT, A.; CHALEERAKTRAKOON, C.; SHARMA, A. Is increased flooding in Bangkok a result of rising local temperatures? **Journal of Hydrology**, v. X13, n. 100095, 2021. Disponível em: [<https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2021.100095>.]

WU, Z. *et al.* Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Waste Management**, v. 34, n. 9, p. 1683-1692, 2014. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14002104>] Acesso em: 22 out. 2021.

ZHENG, W. *et al.* Systematic review of pentachlorophenol occurrence in the environment and in humans in China: Not a negligible health risk due to the re-emergence of schistosomiasis. **Environment International**, v. 42, p. 105-116, 2012. Disponível em: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412011001243>] Acesso em: 22 out 2021.

ZHOU, X. N. *et al.* Potential Impact of Climate Change on Schistosomiasis Transmission in China. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 78, n. 2, p. 188-194, 2008. Disponível em: [<https://www.ajtmh.org/content/journals/10.4269/ajtmh.2008.78.188>] Acesso em: 22 nov. 2022.

