

**Pontifícia Universidade Católica de São Paulo**

**PUC-SP**

**Gustavo Correia de Aquino Custódio**

**O saneamento básico e a internet das coisas: os díspares avanços na cidade  
de São Paulo**

**Mestrado em Tecnologias da Inteligência e Design Digital**

**São Paulo**

**2021**

Gustavo Correia de Aquino Custódio

O saneamento básico e a internet das coisas: os díspares avanços na cidade de  
São Paulo

Mestrado em Tecnologias da Inteligência e Design Digital

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE em Tecnologias da Inteligência e Design Digital, sob orientação do Prof. Dr. Nelson Brissac Peixoto.

São Paulo

2021

Banca examinadora

---

---

---

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 88887.369457/2019-00.

Outrossim, houve o suporte da Fundação São Paulo mediante a concessão de bolsa de Mestrado, permitindo a realização do programa Tecnologias da Inteligência e Design Digital.

## DEDICATÓRIA

*À minha esposa, aos meus pais e à minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço primeiramente a Deus pela minha existência.  
Também quero agradecer ao meu orientador, professor Nelson Brissac Peixoto, aos demais professores, colegas da pós-graduação e à Universidade por todos os ensinamentos compartilhados durante o meu percurso.*

## RESUMO

Com o crescimento populacional das regiões urbanas, diversas intervenções devem ser tomadas na infraestrutura das cidades, a exemplo da criação de complexos sistemas para o tratamento e o transporte de água, bem como para a coleta e a adequação dos despejos sanitários a fim de serem corretamente enviados à natureza. A diversa realidade brasileira também se faz presente neste campo, apresentando panoramas muito diferentes entre as regiões, tanto no oferecimento de água tratada, quanto no manuseio correto do esgoto coletado. Apesar de inúmeros avanços nesta área nas últimas décadas, os indicadores da cobertura das redes de saneamento ainda estão longe de fornecerem a segurança necessária, agravada em populações carentes e envoltas em complexos problemas de ordem social-econômica. Diferentes planos para a expansão do saneamento urbano foram elaborados por diferentes governos brasileiros e em diferentes períodos da história. Neste contexto, legislações e marcos regulatórios foram criados, regulando departamentos e secretarias em todos os níveis de governo no contínuo trabalho pela universalização do acesso ao saneamento básico da população. De maneira concomitante, a evolução das tecnologias de sensoriamento, de alto processamento e de transmissão de dados desenvolvidas nas últimas décadas trazem à cena novos paradigmas que auxiliarão na prestação de serviços de saneamento de qualidade à população, além de envolverem os cidadãos diretamente como agentes participantes e fiscalizadores dos recursos naturais, dependentes e pertencentes a todos.

Palavras-chave: Saneamento básico. Internet das coisas. Monitoramento hídrico.

## **ABSTRACT**

With the population growth of urban regions, several interventions must be taken in the infrastructure of cities, such as the creation of complex systems for the treatment and transport of water, and for the collection and adequacy of sanitary evictions to be properly sent to nature. The diverse Brazilian reality is also present in this field, presenting very different panoramas between the regions, both in the offering of treated water, as well as in the correct handling of the collected sewage. Despite numerous advances in this area in recent decades, indicators of the coverage of sanitation networks are still far from providing the necessary security, aggravated in needy populations, and swelled in complex social-economic problems. Different plans for the expansion of urban sanitation were elaborated by different Brazilian governments and at different periods of history. In this context, legislation and regulatory frameworks were created, regulating departments and secretariats at all levels of government in the continuous work for the universalization of access to basic sanitation of the population. At the same time, the evolution of sensing, high-processing and data transmission technologies developed in recent decades bring to the scene new paradigms that will help in the provision of quality sanitation services to the population, besides involving citizens directly as participating agents and supervisors of natural resources, dependent and belonging to all.

Keywords: Sanitation. Internet of Things. Water monitoring.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Um aqueduto romano do século I AEC .....   | 18 |
| Figura 2 – Obras na coletora subterrânea do boulevard de Sébastopol, Paris .....  | 20 |
| Figura 3 – Hidrômetro para uso residencial equipado com sensores e transmissor de dados .....   | 24 |
| Figura 4 – Série de investimentos em saneamento básico em R\$ bilhões constantes até dezembro de 2014 .....                                     | 34 |
| Figura 5 – Modelo de separação das responsabilidades entre agências estatais, titulares do serviço de saneamento básico e concessionárias ..... | 41 |
| Figura 6 – Carregadores de água .....   | 43 |
| Figura 7 – Escravos chamados "tigres" despejando dejetos em corpos hídricos.....  | 44 |
| Figura 8 – Barragem construída para represamento do Rio das Pedras, constituindo a Represa Billings, em 1932 .....                              | 48 |
| Figura 9 – Construção da represa Guarapiranga, em São Paulo, em 1906.....   | 49 |
| Figura 10 – Mananciais do Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMSP .....  | 57 |
| Figura 11 – Cartografia com a distribuição dos sistemas de esgotamento sanitário da RMSP .....  | 59 |
| Figura 12 – Ligação irregular de esgoto residencial à rede pluvial identificada pelo uso de corante .....                                       | 61 |
| Figura 13 – Despejo irregular de esgoto residencial em um córrego .....   | 61 |
| Figura 14 – Índices de imóveis nos bairros de São Paulo que não estão ligados à rede de esgoto, mesmo com a rede disponível.....                | 62 |
| Figura 15 – As quatro revoluções industriais.....   | 65 |
| Figura 16 – Etiqueta RFID.....  | 69 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 17 – Evolução temporal das dimensões de um transistor .....  | 70  |
| Figura 18 – Evolução temporal do custo de fabricação de sistemas eletromecânicos e memória semicondutora .....  | 70  |
| Figura 19 – Arquitetura de rede LPWAN.....  | 73  |
| Figura 20 – Cobertura da rede Sigfox no Brasil, em 2021 .....   | 74  |
| Figura 21 – Fiscalização em ligações de bueiros clandestinas .....  | 79  |
| Figura 22 – Hidrômetros inteligentes fornecidos pela SABESP .....   | 86  |
| Figura 23 – Hidrômetro com módulo de radiotransmissão instalado.....  | 88  |
| Figura 24 – Modelagem de uma caixa de bueiro destacada entre o sistema de esgoto mapeado e o conjunto de propriedades catalogadas no sistema SSAIM, para consulta em tempo real ..... | 91  |
| Figura 25 – Modelagem de um encanamento subterrâneo equipado com um sistema de monitoramento de vídeo em tempo real.....  | 92  |
| Figura 26 – Modelagem de uma caixa de bueiro com informações de monitoramento, eventos detectados pelos sistemas de apoio, desenhos técnicos e relatórios operacionais.....           | 93  |
| Figura 27 – Garrafa de Van Dorn para a coleta de amostra de água.....   | 94  |
| Figura 28 – Dispositivo de monitoramento externo para cidades inteligentes.....   | 95  |
| Figura 29 – Dispositivo para monitoramento remoto da qualidade da água <i>in situ</i> ...   | 96  |
| Figura 30 – Protótipo de sistema para monitoramento da qualidade da água .....  | 98  |
| Figura 31 – Protótipos de instrumentos para monitoramento da qualidade da água construídos em oficinas realizadas pela comunidade e por pesquisadores.....                            | 99  |
| Figura 32 – Monitoramento <i>in situ</i> da qualidade de água em canal de polder e alagados, realizado pela comunidade e por pesquisadores.....                                       | 100 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios com prestadores de serviço participantes do SNIS, em 2019.....               | 32 |
| Tabela 2 – Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, total e segundo as categorias de doenças ..... | 33 |
| Tabela 3 – Evolução da extensão de rede de água, na cidade de São Paulo .....   | 55 |
| Tabela 4 – Indicadores relacionados à cobertura da rede de esgoto, no município de São Paulo.....   | 58 |
| Tabela 5 – Comparação entre algumas redes sem fio usadas para a comunicação M2M .....   | 72 |
| Tabela 6 – Desafios propostos para a inovação na apuração do consumo de água e esgoto .....   | 76 |
| Tabela 7 – Desafios propostos para melhorias na detecção e na redução de perdas de água nos sistemas de adução e distribuição.....              | 77 |
| Tabela 8 – Desafios propostos para a detecção e o combate de ligações clandestinas .....  | 78 |
| Tabela 9 – Desafios propostos no enfrentamento à degradação dos recursos hídricos .....   | 80 |
| Tabela 10 – Desafios propostos na implementação de soluções de saneamento em regiões precárias ou isoladas.....                                 | 81 |
| Tabela 11 – Desafios propostos para a otimização de processos de reparo de tubulações nas ruas .....  | 82 |
| Tabela 12 – Desafios propostos para a viabilização de novas tecnologias para o tratamento de esgoto .....                                       | 83 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 13 – Desafios propostos para o desenvolvimento de um medidor de vazão de curva aplicado a sistemas de esgoto ..... | 84 |
|---|----|

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| AEC     | Antes da Era Comum  |
| ANA     | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico   |
| ARSESP  | Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo                            |
| BNH     | Banco Nacional da Habitação   |
| CESB    | Companhia Estadual de Saneamento Básico   |
| CETESB  | Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas |
| CNI     | Confederação Nacional da Indústria  |
| COMASP  | Companhia Metropolitana de Águas de São Paulo   |
| DAE     | Departamento de Águas e Esgotos   |
| DATASUS | Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde                                     |
| EC      | Era Comum   |
| ETE     | Estação de Tratamento de Esgoto   |
| ETSI    | <i>European Telecommunications Standards Institute</i>                                    |
| ETA     | Estação de Tratamento de Água   |
| FESB    | Fundo Estadual de Saneamento Básico   |
| FGTS    | Fundo de Garantia do Tempo de Serviço   |
| GSM     | <i>Global System for Mobile Communications</i>  |
| HLS     | <i>HTTP Live Streaming</i>  |
| HTTP    | <i>Hypertext Transfer Protocol</i>  |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística   |
| IEEE    | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>                                  |
| IETF    | <i>Internet Engineering Task Force</i>  |

|         |   |
|---------|---|
| IoT     | <i>Internet of Things</i>                             |
| ISO     | <i>International Organization for Standardization</i> |
| LORA    | <i>Long Range</i>                                     |
| LORAWAN | <i>Long Range Wide Area Network</i>                   |
| LPWAN   | <i>Low Power Wide Area Network</i>                    |
| LTE     | <i>Long Term Evolution</i>                            |
| M2M     | <i>Machine-to-Machine</i>                             |
| MIT     | <i>Massachusetts Institute of Technology</i>          |
| NIST    | <i>National Institute of Standards and Technology</i> |
| ONU     | Organização das Nações Unidas                         |
| PIB     | Produto Interno Bruto                                 |
| PLANASA | Plano Nacional de Saneamento                          |
| PLANSAB | Plano Nacional de Saneamento Básico                   |
| PMSB    | Plano Municipal de Saneamento Básico                  |
| RAE     | Repartição de Águas e Esgotos                         |
| RFID    | <i>Radio-Frequency Identification</i>                 |
| RMSP    | Região Metropolitana de São Paulo                     |
| SABESP  | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo |
| SAEC    | Superintendência de Água e Esgotos da Capital         |
| SANESP  | Companhia Metropolitana de Saneamento de São Paulo    |
| SIM     | Sistema Integrado Metropolitano de Água               |
| SNIS    | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento      |
| SSAIM   | <i>Smart Sewer Asset Information Model</i>            |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUÇÃO .....  | 17 |
| Motivações.....   | 26 |
| Objetivos.....  | 26 |
| Justificativa .....   | 27 |
| Estrutura do trabalho .....   | 28 |
| 1. SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL.....   | 30 |
| 1.1 Um breve histórico do saneamento básico no Brasil .....                                     | 30 |
| 1.2 Legislação brasileira sobre as competências pelo saneamento básico ....                     | 35 |
| 1.2.1 Atualização do marco do saneamento básico pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020..... | 39 |
| 1.3 Histórico do saneamento básico no município de São Paulo .....                              | 42 |
| 1.4 Cobertura do saneamento básico no município de São Paulo .....                              | 54 |
| 2. A INTERNET DAS COISAS E AS SUAS TECNOLOGIAS .....  | 63 |
| 2.1 Uma nova revolução na indústria moderna.....  | 63 |
| 2.2 Internet das coisas.....  | 67 |
| 2.3 Redes <i>Low Power Wide Area</i> .....  | 71 |
| 3. TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA O SANEAMENTO BÁSICO INTELIGENTE.....                             | 75 |
| 3.1 Desafios enfrentados e oportunidades encontradas nos serviços de saneamento básico.....     | 75 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.2   | Aplicações de sensores e atuadores como vetor de transformação do saneamento básico.....             | 84  |
| 3.2.1 | Inovações na apuração de consumo de água e esgoto, detecção e combate de ligações clandestinas ..... | 85  |
| 3.2.2 | Inovações na detecção e na redução de perdas de água nos sistemas de adução e distribuição .....     | 87  |
| 3.2.3 | Inovações no processo de reparo de tubulações nas ruas.....  | 88  |
| 3.2.4 | Inovações no monitoramento ambiental dos corpos hídricos .....                                       | 94  |
| 4.    | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 101 |
| 4.1   | Trabalhos futuros .....  | 105 |
|       | REFERÊNCIAS.....   | 107 |

## INTRODUÇÃO

As obras de engenharia criadas para lidarem com o abastecimento de água e com o saneamento remontam a aproximadamente 4.000 anos AEC, na Mesopotâmia. Nas primeiras cidades do mundo, o aumento populacional e a necessidade da agricultura trouxeram desafios, como a obtenção de quantidades suficientes de água e o tratamento dos despejos gerados pela população, de modo que, uma vez ignorados, culminavam na transmissão de doenças por via oral (MITCHELL, 2015), trazendo a percepção de que certas medidas visando à salubridade e a hábitos higiênicos deveriam ser tomadas para promover o desenvolvimento dessas comunidades (REZENDE e HELLER, 2008).

As inovações criadas por essas civilizações a fim de rudimentarmente tratarem das questões sanitárias foram a introdução de objetos que se assemelhavam a latrinas, para o isolamento dos excrementos humanos gerados dos locais onde se realizavam outras atividades domésticas, como refeições e repouso, e a delimitação de espaços afastados das casas para realizar o descarte de material orgânico, de resíduos de origem animal ou de outras matérias inorgânicas (MITCHELL, 2015).

Após o século III AEC, no mundo greco-romano, a coletividade passou a ser beneficiada pela evolução e pela construção de sistemas de drenagem e de canalização de esgotos — obras essas que foram difundidas por todo o Império Romano, durante seus quase 1.000 anos de existência.

Entre esses empreendimentos públicos, citam-se as obras para a drenagem subterrânea de águas proveniente de chuvas e o uso de aquedutos, conforme exibido na Figura 1, para captação hídrica em rios próximos às cidades. Essas medidas foram primariamente utilizadas para o abastecimento de banheiros, de chafarizes e de fontes

públicas, de sorte que, naquele momento, raramente eram encontradas em conexões residenciais privadas (ABELLÁN, 2017).



Figura 1 – Um aqueduto romano do século I AEC  
Extraído de: (ZUSMANN, 2020)

Após a queda do Império Romano ocidental, no final do século V da EC, junto à desintegração das administrações urbanas, muitos sistemas de esgotamento e de captação foram parados, abandonados ou destruídos, em larga medida reduzindo a qualidade das condições higiênicas da população, causando um terrível intervalo na inovação e na adoção de novas medidas sanitárias pelos povos ocidentais, por muitos séculos adiante (ABELLÁN, 2017).

Já na Era Contemporânea, após o século XIX, com o advento da urbanização em larga escala, da globalização e da Primeira Revolução Industrial, os esforços científicos na saúde e nas engenharias trouxeram as necessárias inovações no saneamento, em grande medida como forma de combater as doenças epidemiológicas que acometiam a Europa, dado o crescimento vertiginoso populacional e a desenfreada expansão das cidades, fruto este do rápido crescimento

econômico, haja vista a modernização dos meios de produção e das inovações científicas, que melhorariam a qualidade da vida dos habitantes (ABELLÁN, 2017).

A epidemia de cólera que devastou a Europa, na metade do século XIX, foi objeto de estudo pelos médicos John Snow e Willian Budd, que encontraram evidências da relação processo-doença, resultando na associação da má qualidade sanitária oferecida pelos esgotos londrinos, que contaminavam a água consumida pela população.

Dessa descoberta, foram formulados os primordiais estudos epidemiológicos, que, por meio da observação e da experimentação, refutaram em grande medida as teorias miasmáticas, as quais até o momento eram aceitas como a causa das doenças transmissíveis da época, de modo que, até então, acreditava-se que o meio para a emanção de doenças era exclusivamente através da insalubridade e da má qualidade do ar, dada a decomposição de matérias orgânicas e de ambientes insalubres (BOWES, 2020).

A questão sanitária estava em voga com as novas descobertas que, alguns anos mais tarde, ao serem estudadas pelo cientista Louis Pasteur, formulariam as teorias germinativas e microbianas. A partir desse momento histórico, outras cidades europeias iniciaram grandes projetos para a sanitização pública, como: a adequação da separação das águas consumíveis e o tratamento da água contaminada (GANDY, 1998).

Tornava-se, então, a partir daquele momento, patente às administrações públicas a realização de grandes obras na infraestrutura das cidades para findar a insalubridade causada pela contaminação da água. Em Paris a partir da década de 1850 após a posse de Georges-Eugène Haussmann à prefeitura do Sena passou por grandes transformações em sua arquitetura e infraestrutura, buscando,

conjuntamente, o embelezamento do espaço público e o refreamento das péssimas condições sanitárias vividas pelos habitantes (MENDONÇA, 2019). A partir desse momento da administração pública parisiense, grandes galerias de esgoto subterrâneas foram construídas, celebrenemente retratadas no romance “Os Miseráveis”, de Victor Hugo, durante a fuga do protagonista Jean Valjean na claustrofóbica e obscura imensidão das recém-construídas redes de esgotos da Paris pós-revolucionária.

Entre as medidas de objetivo urbanístico, houve grandes expansões nas redes públicas de esgoto já operantes, como mostrado na Figura 2, criando padrões de implantação e transformando a condução do trato da infraestrutura pública, trazendo salubridade aos aglomerados urbanos, com complexas obras de saneamento e de organização do espaço público.

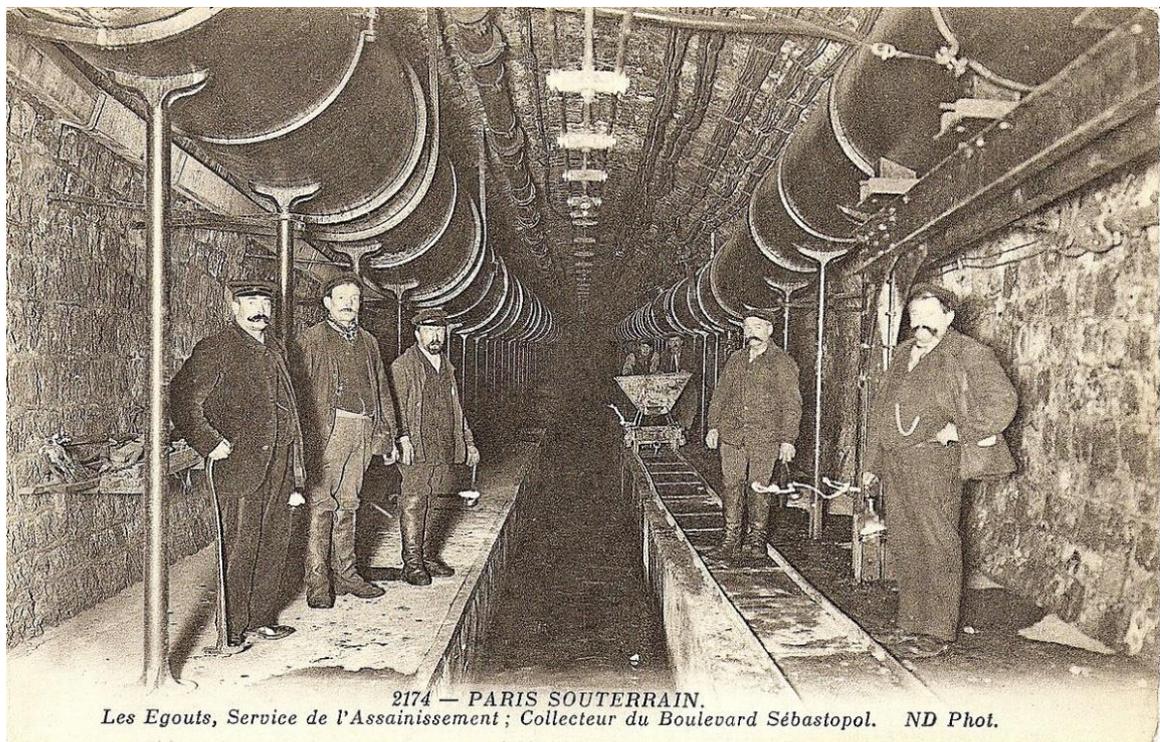


Figura 2 – Obras na coletora subterrânea do boulevard de Sébastopol, Paris  
Extraído de: (WIKIPÉDIA, 2008)

Tais medidas, que posteriormente foram denominadas como “padrões haussenianas de urbanização”, seriam replicadas em outras cidades da Europa, chegando à América Latina décadas mais tarde (REZENDE e HELLER, 2008).

No Brasil, as intervenções adotadas para criar redes de distribuição de água e de coleta de esgoto foram tardias, se comparadas às tomadas na Europa. Pode-se atribuir ao atraso o fato de a metrópole, Lisboa, deter apenas interesse pela exploração dos recursos locais em suas colônias (REZENDE e HELLER, 2008).

A partir do século XVII, com o aumento populacional nas maiores capitais provincianas — São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador e Recife —, o poder local passou a investir em obras de construção de chafarizes públicos para a distribuição de água captada de mananciais próximos, porém em quantidade insuficiente para atender a todos, fazendo-se necessário o transporte dessa água para as casas por meio de barris, carregados por escravos ou por animais (REZENDE e HELLER, 2008). Além disso, até a segunda metade do século XIX, não havia estrutura alguma para a coleta de despejos.

No início do século XIX o setor privado de São Paulo deteve, por curto período de tempo, o pioneirismo na construção e na execução de serviços sanitários. Porém em pouco tempo, devido às questões econômicas e políticas da época, essas empresas foram perdendo espaço para que o poder público assumisse a administração sanitária.

Segundo Rezende e Heller (2008, p. 134), “a política estadual de subvenção à imigração de trabalhadores estrangeiros para as lavouras de café foi o ponto de partida para o desenvolvimento dos serviços sanitários no Estado”. Assim, foi criado o aparelho estatal necessário para tratar das questões de saúde, de pesquisas relacionadas a doenças infecciosas e de obras de infraestrutura sanitária.

Entre os institutos e departamentos-chave criados nesse período, citam-se o Instituto Bacteriológico, em 1892, a Repartição de Águas e Esgotos, em 1893, e o Instituto Butantã, em 1901, tornando São Paulo um “cenário de grande movimentação científica e tecnológica” (REZENDE e HELLER, 2008, p. 134).

Ao longo do século XIX, São Paulo teve um crescente aumento populacional, graças às transformações industriais que a região sofrera, sendo necessário, então, maiores montantes de investimento estatal na realização de obras de captação de água e de esgotamento sanitário, a fim de atender à totalidade da sua crescente população.

Apesar dos esforços tomados na cidade de São Paulo, em 2019, já com mais de 12 milhões de habitantes, conferindo-lhe o título de maior cidade do hemisfério sul, os desafios oferecidos pelo necessário acesso ao saneamento básico tornam-se mais urgentes.

Na cidade de São Paulo, com o maior PIB do país, portanto com maior capacidade de investimento público em obras de saneamento, 35% da população não conta com o tratamento do esgoto coletado (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2020) — com parte deste sendo despejado *in natura* (VELASCO, 2017), causando, especialmente em regiões carentes, os mesmos problemas de saúde pública enfrentados há séculos por conta de doenças transmitidas pela ingestão de água contaminada, bem como pelo contato ou pela proliferação de insetos e de outros animais vetores de doenças transmissíveis.

A partir dos anos 1990, com a evolução de tecnologias relacionadas à Internet e com a computação tornando-se parte do dia a dia das pessoas, novas oportunidades de sistematização e de automação de tarefas foram criadas.

As inovações trazidas pelo desenvolvimento tecnológico foram consolidadas e nomeadas como pertencentes “à Quarta Revolução Industrial”, segundo o engenheiro, economista e fundador do Fórum Econômico Mundial, Klaus M. Schwab (SCHWAB, 2019). Essas mudanças, sistemáticas e profundas, revolucionaram a organização social e suas criações, transformando os governos, as cidades e o trabalho das pessoas, criando empreendimentos e encerrando aqueles que não se adaptarem às novas circunstâncias (SCHWAB, 2019).

De maneira esperada, as questões relacionadas a serviços públicos e saúde também serão beneficiadas por essas transformações. Iniciativas são tomadas por governos, que fazem uso dessas tecnologias para renovar e preservar o meio ambiente, bem como para fornecer serviços públicos de qualidade, de maneira mais eficiente para a totalidade da população, melhorando, assim, os índices de qualidade de vida (SCHWAB, 2019).

O uso mais intenso e inovador das tecnologias em rede ajuda as administrações públicas a modernizar suas estruturas e funções para melhorar seu desempenho global, como o fortalecimento dos processos de governança eletrônica para promover maior transparência, responsabilização e compromissos entre o governo e seus cidadãos. (SCHWAB, 2019, p. 78)

Muitas cidades conectarão serviços, redes públicas [...] à Internet. Essas cidades inteligentes irão gerenciar sua energia, fluxos de materiais, logística e tráfego. Cidades progressistas, como Singapura e Barcelona, já estão implementando muitos novos serviços baseados em dados, incluindo soluções de estacionamento, coleta de lixo e iluminação inteligentes. (SCHWAB, 2019, p. 146)

Além do oferecimento de serviços de saneamento modernos, as novas tecnologias também permitem que a própria população monitore a qualidade dos serviços de distribuição de água e de esgoto que lhes são fornecidos, tornando seu uso racional, e com precisas tarifas aplicadas (STANKOVIC, HASANBEIGI e NEFTENOV, 2020).

Algumas concessionárias de saneamento básico em São Paulo realizam projetos para fornecer a tecnologia de monitoramento à população, como a troca dos hidrômetros residenciais manuais por eletrônicos — exibido na Figura 3 — em certas regiões como planos-piloto, e a expectativa para uma maior acessibilidade desses novos equipamentos dotados de sensores e conectividade é crescente para os próximos anos.



Figura 3 – Hidrômetro para uso residencial equipado com sensores e transmissor de dados  
Adaptado de: (MELO, 2020)

Mesmo trabalhando, atualmente, somente com 100 mil clientes, que representam aproximadamente 2% dos clientes da Região Metropolitana de São Paulo, este [projeto de troca para hidrômetros residenciais inteligentes] é um projeto grande. São mais de 8.000 trocas de hidrômetros por mês, sendo a maior parte delas de grande diâmetro. [...] Hoje os medidores inteligentes ainda apresentam custos relativamente altos, o que dificulta a aplicação em larga escala, mas acreditamos que, a médio prazo, os preços devem reduzir, tornando viável a aplicação em clientes com menor consumo. (VEIGA, 2020, apud MELO, 2020)

Até 2030, a ONU estabelece o objetivo de que os países possuam disponibilidade de água e saneamento básico (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2020a), e o suporte ao desenvolvimento tecnológico em pesquisa e

inovação em países em desenvolvimento, como o Brasil (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2020b). Tais esforços combinados vão ao encontro das necessidades enfrentadas por parte da população, que carece de serviços públicos para acesso à água e a esgoto de qualidade.

Felizmente, os avanços tecnológicos quando são aliados a políticas públicas sociais de reurbanização, e de assentamento, podem tornar as metas de universalização alcançáveis a um novo ritmo, haja vista a velocidade de sua implantação, seja na diminuição do custo da tecnologia em si, seja em novos métodos de aplicação, na fabricação de novos tipos de materiais, e da disponibilidade que tais tecnologias podem alcançar.

Portanto, em seis milênios de desenvolvimento da civilização, percebe-se que os desafios relacionados à qualidade da saúde da população se transformam, adicionando novas camadas de complexidade com a mesma frequência que as transformações ocorrem.

## **Motivações**

A discussão sobre os recursos hídricos em grandes cidades e sobre a oferta universal de saneamento básico é um desafio constante das populações urbanas. Porém, historicamente, no Brasil os governos locais e as empresas responsáveis buscam quase em unanimidade grandes intervenções como solução dessa questão.

A motivação para este trabalho, portanto, é buscar metodologias e tecnologias computacionais, de baixo custo, que possuam sustentabilidade durante a gestão de recursos hídricos e de saneamento básico em grandes cidades, por meio do estudo e da discussão de casos de uso existentes.

## **Objetivos**

Esta dissertação expositiva tem como objetivos principais: (1) realizar um levantamento histórico sobre a cobertura de saneamento básico na cidade de São Paulo; (2) verificar se a aplicação do conceito de internet das coisas mitigaria, de maneira economicamente viável, problemas relacionados ao déficit enfrentado pela população em relação ao saneamento básico e suas vertentes, como a coleta, o tratamento e a distribuição de água, bem como a disponibilização de estruturas para coleta e tratamento de esgotamento sanitário. Como objetivos secundários, são propostos: (1) abordar as consequências sofridas pela população pela falta de saneamento básico; (2) tratar das mudanças nas legislações brasileiras vigentes, conhecidas como o marco legal de saneamento básico e das metas de universalização do serviço.

## **Justificativa**

Nos últimos quinze anos, está havendo uma transformação tecnológica sem precedentes envolvendo todos os âmbitos da sociedade, incluindo a política e a economia, de modo que esses agentes estão sendo beneficiados com dados coletados como jamais visto — informações geradas por meio da análise de dados e por meio do rastreamento de ações em tempo real.

Entretanto, a despeito da modernidade proposta, temas relacionados à saúde, diretamente relacionado aos serviços de saneamento básico, que parecem quase superados em países desenvolvidos, ainda são uma chaga aberta em sociedades desiguais e pouco desenvolvidas, como a brasileira.

Em grandes centros urbanos brasileiros — como o município de São Paulo, que, a despeito de possuir os melhores indicadores econômicos do país, possui, segundo dados de 2019, uma população de 12 milhões de habitantes —, ainda prevalece o cenário de um abismo de desigualdade sem precedentes. Regiões tão carentes de serviços públicos — como hospitais, escolas, urbanização e saneamento básico — parecem congeladas no tempo, vítimas da desassistência e da carência de serviços básicos, expondo a omissão das instituições sociais com seus cidadãos.

Esta pesquisa aborda o panorama do saneamento básico no município de São Paulo, bem como ações, medidas e pesquisas realizadas que aplicam o que há de mais atual tecnologicamente para trazer à população mais do que água limpa e esgoto tratado: também serão fornecidas à população ferramentas de conscientização e de fiscalização sobre seus direitos, de modo a trazer visibilidade e cidadania a quem mais necessita.

## **Estrutura do trabalho**

O presente estudo encontra-se estruturado em quatro capítulos:

**Capítulo 1: Saneamento básico no Brasil:** inicia-se propondo uma discussão acerca de como o saneamento básico evoluiu historicamente no Brasil, discorrendo sobre suas implicações sociais e sobre a relação de disputa entre interesses políticos e econômicos, desde a metade do século XIX, ainda durante o Governo Imperial, transpassando as primeiras Repúblicas, findando atualmente.

Será apresentada uma visão geral da legislação brasileira relacionada à competência do serviço de saneamento básico e sua evolução ao longo das décadas.

Seguindo para um contexto regional, serão tratados: a evolução do saneamento básico na cidade de São Paulo; o advento do serviço de saneamento ainda durante a capital provincial; e como a política influenciou na titularidade do serviço no decorrer das mudanças de regimes, passando pela criação de planos federais e de companhias públicas para administração, fornecimento de água e tratamento de esgoto até a segunda década do século XXI.

**Capítulo 2: A internet das coisas e as suas tecnologias:** serão apresentadas transformações no âmbito da modernização da indústria, com o advento das tecnologias de conectividade de dispositivos eletrônicos.

Será discutido como se dará o aproveitamento das tecnologias ligadas à Internet e como essa mudança implicará no direcionamento de ações de governos, de indústrias e da sociedade, bem como as ferramentas a serem utilizadas para a sua aplicação, que, neste contexto, permitirão o fornecimento de serviços públicos de maior qualidade, abrangência e eficiência.

**Capítulo 3: Tecnologias inovadoras para o saneamento básico inteligente:** apresentará propostas inovadoras que buscam a eficiência esperada

pelos serviços de saneamento básico por meio da combinação de tecnologias modernas, como sensoriamento para a geração, para a coleta e para a análise de dados em tempo real, a fim de fornecer uma possibilidade de maior qualidade desses serviços oferecidos à população, além das reduções de custo e de desperdício para as concessionárias.

Serão tratadas também as discussões sobre a proximidade entre a tecnologia e o cidadão e sobre como cada comunidade pode operar como um agente fiscalizador dos serviços oferecidos, especialmente ao fazer uso de um poderoso material computacional de baixo custo, o qual permite o acesso a zonas desassistidas, periféricas e com evidente carência de acesso à distribuição de água e esgotamento sanitário.

**Capítulo 4: Considerações finais:** apresentará uma síntese expositiva sobre os elementos apresentados, provocando a respeito de quais inovações poderão ser acrescentadas. Também será registrado quais objetivos foram alcançados com esta pesquisa e, por fim, serão sugeridas recomendações para outras áreas de pesquisa correlatas que devem ser incluídas nesta matéria.

# 1. SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

Este capítulo apresenta um levantamento histórico, dados e análises da questão de saneamento básico no Brasil, bem como um levantamento desse serviço público na cidade de São Paulo, especialmente em regiões periféricas, e suas consequências.

## 1.1 Um breve histórico do saneamento básico no Brasil

Segundo o Houaiss (2015, p. 847), o saneamento básico é um “conjunto de condições urbanas essenciais para a preservação da saúde pública” e “sistemas de distribuição de água por encanamento e de tratamento de esgoto”.

Condições essas asseguradas pela Constituição Federal de 1988 do Brasil e definidas, mais especificamente, por meio de Leis Federais, sendo a mais recente a Lei nº 14.026/2020, em que, para os dispositivos legais, compreende-se o saneamento básico como:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização [...] de água potável, desde a captação até as ligações prediais [...];
- b) esgotamento sanitário: constituído pela [...] coleta, transporte, tratamento e a disposição final adequados dos esgotos sanitários [...];
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades [...] de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte [...] e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares [...];
- d) drenagem e manejo das águas pluviais: constituído pelas atividades [...] de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias [...]; (BRASIL, 2020)

Em 28 de julho de 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou a água limpa e segura e o saneamento básico “um direito humano essencial para gozar plenamente a vida e todos os outros direitos humanos” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2010).

Ainda segundo o relatório da ONU (2010), o abastecimento de água e a disponibilidade de saneamento devem possuir as seguintes características: a) ambos devem ser de acesso contínuo e suficiente para usos domésticos; b) a água necessária para o consumo deve ser segura, sem presença de agentes que constituam uma ameaça para a saúde; c) a água deve ser aceitável em cor, odor e sabor para consumo pessoal e doméstico, e o saneamento deve ser assegurado de forma não discriminatória, preservando a privacidade e a dignidade do indivíduo no uso de serviços sanitários públicos; d) todos devem ter direito a serviços de água e de saneamento fisicamente acessíveis dentro ou nas proximidades imediatas do lar, do local de trabalho, de ensino ou de saúde; e) a preços razoáveis para todos, mesmo os mais pobres.

A despeito de resoluções, tratados internacionais e legislação interna vigente no país, o saneamento básico, em toda a sua forma, não é oferecido em plena abrangência no território nacional.

Dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, do Ministério do Desenvolvimento Regional, indicam, na Tabela 1, os índices de atendimento coletados, no ano de 2019, em 5.177 municípios que divulgaram possuir abastecimento de água realizado por prestação de serviço público, e em 2.592 municípios que indicaram possuir esgotamento sanitário realizado também por prestação de serviço.

| Macrorregião | Índice de atendimento<br>com rede (%) |                      | Índice de tratamento dos esgotos<br>(%) |                      |
|--------------|---------------------------------------|----------------------|---|----------------------|
|              | Água                                  | Coleta de<br>esgotos | Esgotos gerados                         | Esgotos<br>coletados |
| Norte        | 57,5                                  | 12,3                 | 22,0                                    | 82,8                 |
| Nordeste     | 73,9                                  | 28,3                 | 33,7                                    | 82,7                 |
| Sudeste      | 91,1                                  | 79,5                 | 55,5                                    | 73,4                 |
| Sul          | 90,5                                  | 46,3                 | 47,0                                    | 94,6                 |
| Centro-Oeste | 89,7                                  | 57,7                 | 56,8                                    | 93,2                 |
| Brasil       | 83,7                                  | 54,1                 | 49,1                                    | 78,5                 |

Tabela 1 – Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios com prestadores de serviço participantes do SNIS, em 2019

Adaptado de: (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2019, p. 58)

Embora o estudo apresente indicadores de evolução na implantação de medidas sanitárias na série histórica, os dados mais recentes ainda apresentam uma realidade distante da ideal, já que os municípios considerados no levantamento de 2019 apresentam menos da metade do volume total de esgoto gerado como tratado, refletindo diretamente e negativamente nos indicadores de saúde da população.

Dados coletados pelo IBGE, em uma série histórica, de 2000 a 2016, apresentada na Tabela 2, revelam o impacto da baixa cobertura sanitária no país, apresentando, no ano de 2016, 166,8 internações hospitalares decorrentes do saneamento inadequado, segundo o DATASUS.

| Causa de doenças – Total |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Ano                      |       |       |       |       |
| 2000                     | 2004  | 2008  | 2012  | 2016  |
| 326,1                    | 312,8 | 309,2 | 215,9 | 166,8 |

Tabela 2 – Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, total e segundo as categorias de doenças  
Adaptado de: (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017)

Essas internações, catalogadas pelo IBGE, dividem-se em cinco categorias de doenças: as de transmissão feco-oral, isto é, por meio de fezes; as transmitidas por inseto vetor; as transmitidas através do contato com a água; as relacionadas com a higiene; e as geo-helmintos e teníases, relacionadas às verminoses.

Segundo o levantamento realizado por Barrucho (2020), as doenças desenvolvidas recorrentemente por contato com a água contaminada são: diarreia, cólera, salmonela, shigelose, febres entéricas, leishmanioses, malária, esquistossomose, leptospirose e doenças de pele.

Além dos impactos ambientais e de saúde pública, a expansão da rede sanitária também afeta a economia. A ausência de uma pessoa exercendo suas atividades laborais por causa de doenças relacionadas à falta de saneamento tem custo para a empresa e para o país. Por exemplo, a redução do número de internações nos últimos anos provenientes de infecções gastrointestinais resultou em economia de R\$ 103,3 milhões por ano para os cofres públicos (SIMÕES, 2017).

Quando os serviços de saneamento são oferecidos para a população, os resultados econômicos e sociais são evidentes. Um levantamento realizado pelo Instituto Trata Brasil em parceria com a SABESP, Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo, avaliou o impacto da evolução dos serviços sanitários, entre

2005 e 2015, na economia, movimentando R\$ 146 bilhões em benefícios sociais e econômicos nesse período (SIMÕES, 2017).

Ao longo das décadas, diferentes planos de governos e legislações foram inseridos na ordem do dia em relação à expansão do saneamento básico, em centros urbanos e rurais no país. Porém, para atingir a universalização do acesso aos serviços de saneamento até 2033, segundo plano estipulado pelo PLANSAB em sua revisão de 2019, é requerido um complexo cenário de crescimento do país, com forte colaboração entre os entes federativos e com o avanço na capacidade de gestão, havendo continuidade entre os mandatos de governos e o desenvolvimento de novas tecnologias (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2019, p. 135).

Além disso, o investimento público aplicado mostra-se insuficiente em relação ao previsto, comprometendo o desenvolvimento do setor. Segundo relatório da CNI (2017, p. 21), entre 2009 e 2014, a média nacional de investimento no saneamento básico foi de R\$ 9,3 bilhões, conforme demonstra a Figura 4, menor que a previsão elaborada pelo PLANSAB, de acordo com a qual, nesse período, o montante de investimento deveria corresponder a R\$ 26,8 bilhões, mais que o dobro das inversões do período.

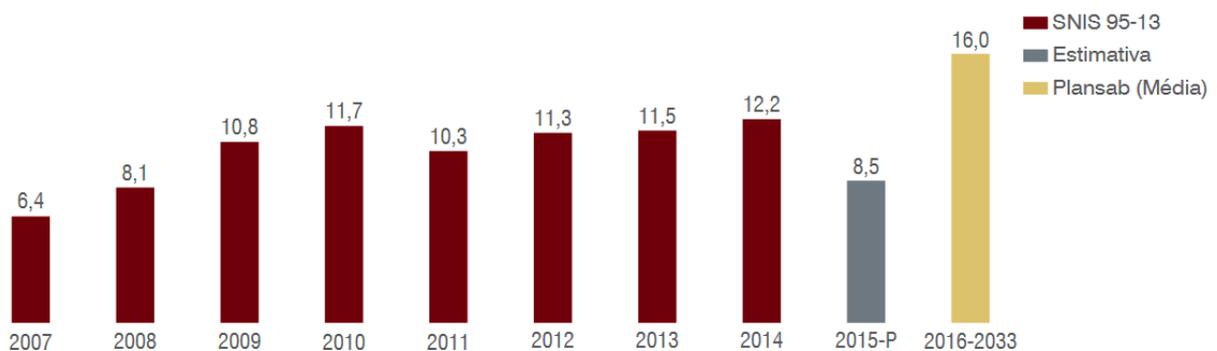


Figura 4 – Série de investimentos em saneamento básico em R\$ bilhões constantes até dezembro de 2014

Extraído de: (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2017, p. 22)

Entretanto, diversos são os fatores que prejudicam a expansão de políticas e obras relacionadas a esse tema: desde a complexidade do Estado brasileiro, do ordenamento legal, da oferta de recursos públicos — oriundos de recolhimentos do FGTS, principal fonte de financiamento do setor<sup>1</sup> (MOTA, 2019) —, até a má elaboração e a má execução dos projetos de engenharia — seja pela burocracia enfrentada em projetos de licitação, seja por empasses jurídicos para a obtenção de licenças ambientais ou para a realização de desapropriações, quando necessárias, e até mesmo por disputa pela participação de empresas privadas, por meio de parcerias público-privadas, concessões e privatizações.

## **1.2 Legislação brasileira sobre as competências pelo saneamento básico**

Em 1967, a situação sanitária no Brasil era preocupante. Menos de 50% da população era abastecida com água e, para uma parcela dessa população, o fornecimento era considerado deficiente ou irregular. Em relação ao esgotamento, apenas 24% da população era atendida, de maneira igualmente deficitária, pois parte desse esgoto coletado não recebia tratamento, tornando-se fonte de poluição dos recursos hídricos (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 1974, p. 90).

A falta de uma legislação ou de uma política nacional de saneamento contribuía para esse cenário, pois nessa época a exploração dos serviços de água e de esgoto ficava a cargo de entidades municipais. Essas entidades não dispndiam de recursos financeiros ou de capital humano necessário para realizar as ampliações no ritmo do crescimento da população. Mesmo os municípios mais ricos enfrentavam

---

<sup>1</sup> A aplicação dos recursos do FGTS em saneamento básico é prevista no parágrafo 2º do artigo 9 da Lei Federal nº 8.036 (BRASIL, 1990) e regulamentada pelo Decreto nº 99.684 (BRASIL, 1990), definindo a constituição, a forma de gestão, a isenção de tributos quanto ao seu recolhimento, a fiscalização e as competências quanto à movimentação desses fundos vinculados aos contribuintes.

dificuldades com o esgotamento, pois a falta de integração entre diferentes fornecedores em uma mesma região ocasionava, por vezes, poluição nos afluentes sanitários (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 1974, p. 91).

Durante a década de 1970, o Governo Federal criou o PLANASA, Plano Nacional de Saneamento, gerido pelo BNH e financiado por meio de recursos próprios e do Fundo de Garantia de Tempo de Serviço para a realização de melhorias no sistema sanitário à época. Esse plano visava encaminhar esses recursos para as Companhias Estaduais de Saneamento, CESBs, incentivando a regionalização de contratos com diversos municípios, adotando sistemas interligados e estrutura tarifária única (SMIDERLE, 2020).

Além disso, o plano continha uma série de objetivos permanentes a serem alcançados, como: (1) a eliminação do *déficit* entre a demanda e a oferta de serviços públicos de água e de esgotos; (2) o atendimento a todas as cidades, incluindo as pequenas comunidades; (3) a instituição de políticas tarifárias que levassem em conta as possibilidades dos usuários, considerando a produtividade do capital e do trabalho; (4) o desenvolvimento de companhias estaduais de saneamento básico; (5) a realização de programas de pesquisas tecnológicas, de treinamento e de assistência técnica (PIRES, 1977, p. 31-35).

Na prática, o PLANASA adotou como uma de suas metas “alcançar, até 1980, abastecimento de água potável a pelo menos 80% da população urbana do País.” Nota-se, segundo Almeida (1977, p. 5), a explícita delimitação do quadro urbano como objetivo do plano. Também foram incluídas metas para o fornecimento de serviços adequados de esgotamento sanitário para 50% da população urbana de regiões metropolitanas, capitais e, na medida do possível, a prestação de serviços de esgoto mais simples em cidades e vilas de pequeno porte (ALMEIDA, 1977, p. 6).

Sua execução, segundo Almeida (1977, p. 17), desenvolveu-se por meio da elaboração de programas estaduais, assim como estudos técnicos e de viabilidade dos projetos, em conjunto com CESBs, que deveriam cumprir os cronogramas e as especificações técnicas e administrativas do plano, além de garantirem o atingimento das metas fixadas.

Apesar de tais metas, segundo Bier, Paulani, Messenberg (1988, p. 181), o objetivo de alcançar 80% da população foi atingido, com atraso, em 1984. Nesse mesmo ano, 32% da população urbana era servida pela rede de esgoto, abaixo dos 50% estipulados, ainda sem considerar o crescimento populacional urbano que aumentava, continuamente, o contingente sem acesso a esse serviço.

A Constituição Federal de 1988 estabeleceu pela primeira vez na história do Estado brasileiro a competência constitucional da União, para a formulação de diretrizes de saneamento básico, nos artigos:

Art. 21. Compete à União:

[...] XX - instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos;

[...]

Art. 23. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

[...] IX - promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico;

[...]

Art. 200. Ao sistema único de saúde compete, além de outras atribuições, nos termos da lei:

[...] IV - participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico (BRASIL, 1988);

A instituição da previsão constitucional sobre o saneamento básico possibilitou em 2007 a promulgação da Lei nº 11.445/2007, denominada Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, que, além de revogar as legislações anteriores, como a Lei nº 6.528/1978, que estabeleceria o PLANASA, criou diretrizes nacionais e de regulação para o setor de saneamento básico, introduzindo novos instrumentos para a gestão, a regulamentação e o planejamento, com o objetivo de

melhorar a eficiência das empresas operadoras do serviço de saneamento, a universalização do acesso, a equidade e a sustentabilidade considerando as peculiaridades locais e regionais (BRITTO, 2012, p. 9).

Essa nova legislação reforçou a titularidade dos municípios em relação aos serviços públicos de saneamento básico, cabendo a estes a elaboração de políticas públicas, sendo facultativa a adesão às estruturas de prestação regionalizada, ou podendo prestar diretamente os serviços, ou conceder a prestação deles, definindo parâmetros de fiscalização para a garantia do atendimento essencial, que, diferentemente do PLANASA, “difundia princípios de gestão pautados nos princípios do insulamento burocrático e na centralização decisória pelas CEBs.” (BRITTO, 2012, p. 9).

O Decreto Federal nº 7.217/2010 (2010), que regulamenta a Lei nº 11.445/2007, estabelece as diretrizes de planejamento do saneamento básico, pela União, com a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico, PLANSAB, e de planos regionais de saneamento básico, contendo:

- a) os objetivos e metas nacionais e regionalizadas, de curto, médio e longo prazos, para a universalização dos serviços de saneamento básico e o alcance de níveis crescentes de saneamento básico no território nacional, observando a compatibilidade com os demais planos e políticas públicas da União;
- b) as diretrizes e orientações para o equacionamento dos condicionantes de natureza político-institucional, legal e jurídica, econômico-financeira, administrativa, cultural e tecnológica com impacto na consecução das metas e objetivos estabelecidos;
- c) a proposição de programas, projetos e ações necessários para atingir os objetivos e as metas da política federal de saneamento básico, com identificação das fontes de financiamento, de forma a ampliar os investimentos públicos e privados no setor;
- d) as diretrizes para o planejamento das ações de saneamento básico em áreas de especial interesse turístico;
- e) os procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações executadas; (BRASIL, 2007)

A regulamentação também prevê a avaliação anual desse plano e sua revisão a cada quatro anos, com o horizonte de vinte anos após o seu decreto.

Diversamente do PLANASA, em que “[...] os municípios delegaram aos Estados a atribuição das ações de saneamento, e os Estados delegaram ao Banco Nacional da Habitação, mediante um protocolo de adesão ao PLANASA, a formulação da política” (REZENDE e HELLER, 2008, p. 270), o PLANSAB pressupõe um estímulo da participação social na orientação dos serviços de saneamento, levando em consideração as condições socioambientais e locais, por meio de consultas públicas, conferências, participações de órgãos colegiados de caráter consultivo, debates e audiências públicas (BRASIL, 2010).

### **1.2.1 Atualização do marco do saneamento básico pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**

Em 15 de julho de 2020, foi decretada e sancionada, pelo Presidente da República Federativa do Brasil, a Lei nº 14.026 (BRASIL, 2020), que atualiza e altera o marco legal do saneamento básico, bem como a Lei nº 9.984 e outras leis relacionadas.

Esse novo marco foi concebido para modernizar e preencher as lacunas legais relacionadas principalmente à titularidade dos serviços, além de trazer maior previsibilidade jurídica nas regulações e de definir métricas de atendimento e eficiência na prestação do serviço. Para tal, o marco foi concebido sob três pilares fundamentais:

- a) Padronização da regulação;
- b) Incentivo à prestação regionalizada;
- c) A livre concorrência de mercado.

Entre os objetivos dessa alteração legal, relacionam-se: (1) atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico a competência para editar normas de referência sobre o saneamento básico, em âmbito nacional; (2) vedar a prestação do serviço de saneamento por contrato de serviços públicos; (3) aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País; (4) definir um prazo máximo para a periodicidade da revisão da Política Nacional de Resíduos Sólidos; (5) adicionar as unidades regionais de saneamento básico às disposições do Estatuto da Metrópole<sup>2</sup>; (6) autorizar a União a participar de fundo de apoio à estruturação e ao desenvolvimento de projetos de concessões e parcerias público-privadas, desde que a finalidade exclusiva seja o financiamento de serviços técnicos profissionais especializados<sup>3</sup>.

Entre as mudanças relacionadas ao planejamento tomado pelos titulares legais dos serviços de saneamento, destaca-se a estipulação da data de 31 de dezembro de 2022 para que os titulares publiquem seus planos de saneamento básico. Além disso, que novos contratos celebrados para a prestação desses serviços contemplem metas de universalização que garantam o atendimento de 99% da população assistida com água potável e de 90% da população com coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033 (BRASIL, 2020).

Consumar a regulamentação do Novo Marco é uma pauta urgente. Além do imperativo humanitário para com dezenas de milhões de brasileiros sem acesso a saneamento básico, os especialistas do setor estimam que cada R\$ 1 investido em saneamento gere um retorno de R\$ 2,8 para a economia, ou seja, os R\$ 700 bilhões previstos para que se atinja a universalização produziram um impacto de quase R\$ 2 trilhões. (O ESTADO DE S.PAULO, 2021)

---

<sup>2</sup> O Estatuto da Metrópole estabelece diretrizes gerais para o planejamento, a gestão e a execução das funções públicas de interesse comum em regiões metropolitanas, além de instituir normas gerais sobre o plano de desenvolvimento integrado aos instrumentos de governança entre os entes federados (BRASIL, 2015).

<sup>3</sup> Lei Federal nº 13.529 (BRASIL, 2017)

A Figura 5 resume o modelo alcançado pela nova lei em relação às divisões de responsabilidades e titularidade do serviço de saneamento. Diferentemente do estado regulatório anterior à lei, nessa nova edição, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) aparece como responsável pela edição de normas de referência a serem seguidas pelas agências reguladoras estaduais e por outras entidades reguladoras administrativas, municipais ou regionais.

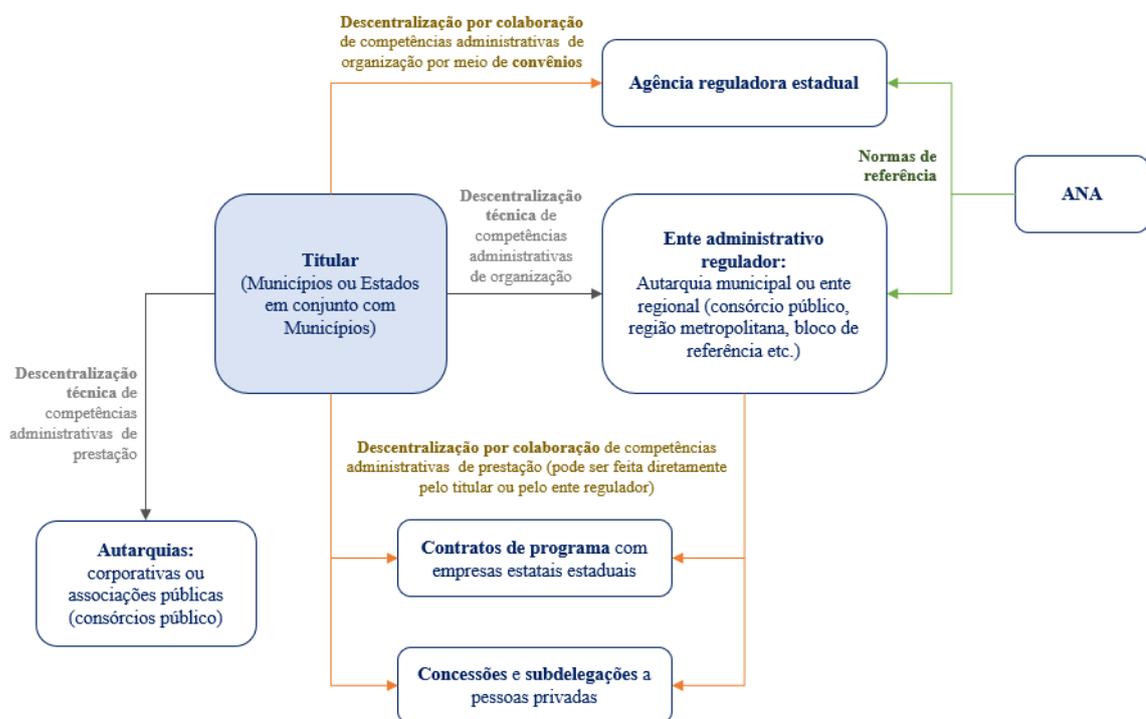


Figura 5 – Modelo de separação das responsabilidades entre agências estatais, titulares do serviço de saneamento básico e concessionárias  
 Extraído de: (FREIRE, 2020)

Os dispositivos legais adotados nessa Lei são referentes à elaboração de padrões de qualidade e de eficiência de prestação, manutenção e operação dos serviços de saneamento básico pela ANA.

Segundo Freire (2020), a centralização na elaboração de padrões por uma autarquia federal veio para solucionar o problema da pluralidade de regulações adotadas entre os titulares pelas políticas de saneamento, aumentando a insegurança

jurídica na celebração de contratos e, conseqüentemente, aumentando o risco dos prestadores, o que, em contrapartida, precificará o serviço ao consumidor.

Por fim, a despeito da não obrigatoriedade constitucional da adoção dos padrões de referência estipulados pela ANA, mecanismos foram criados para que tais normas sejam adotadas, através de incentivos na obtenção de recursos públicos federais e de financiamentos com recursos da União, desde que haja “a observância das normas de referência para a regulação da prestação dos serviços expedidos pela ANA.”. Freire também argumenta que outros incentivos não legais poderão ser impostos, como, por exemplo, financiadores privados não concedendo empréstimos para contratos em caso de não observância das normas de referência pelos agentes tomadores desses recursos (FREIRE, 2020).

### **1.3 Histórico do saneamento básico no município de São Paulo**

Durante o século XIX, nas grandes cidades do Brasil Império, como o Rio de Janeiro, Salvador, Recife e São Paulo, algumas medidas do Governo — por exemplo, a instituição de impostos sobre determinados produtos, como bebidas alcoólicas — ajudaram a financiar as primeiras ações pelos governos provinciais na área do saneamento público (MURTHA, CASTRO e HELLER, 2015, p. 196).

Com o advento da urbanização e do constante crescimento demográfico nessas grandes cidades, medidas que proporcionaram o abastecimento comunitário de água foram implantadas, como a canalização de rios e a construção de chafarizes, bicas e fontes públicas pelas cidades (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

Entretanto, como o serviço de distribuição de água era centralizado em pontos específicos das cidades, fazia-se o uso da mão de obra escrava para realizar o

carregamento de barris para as residências de seus senhores<sup>4</sup>, o que é ilustrado na pintura de Johann Moritz Rugendas, “Carregadores de Água”, conforme mostra a Figura 6.

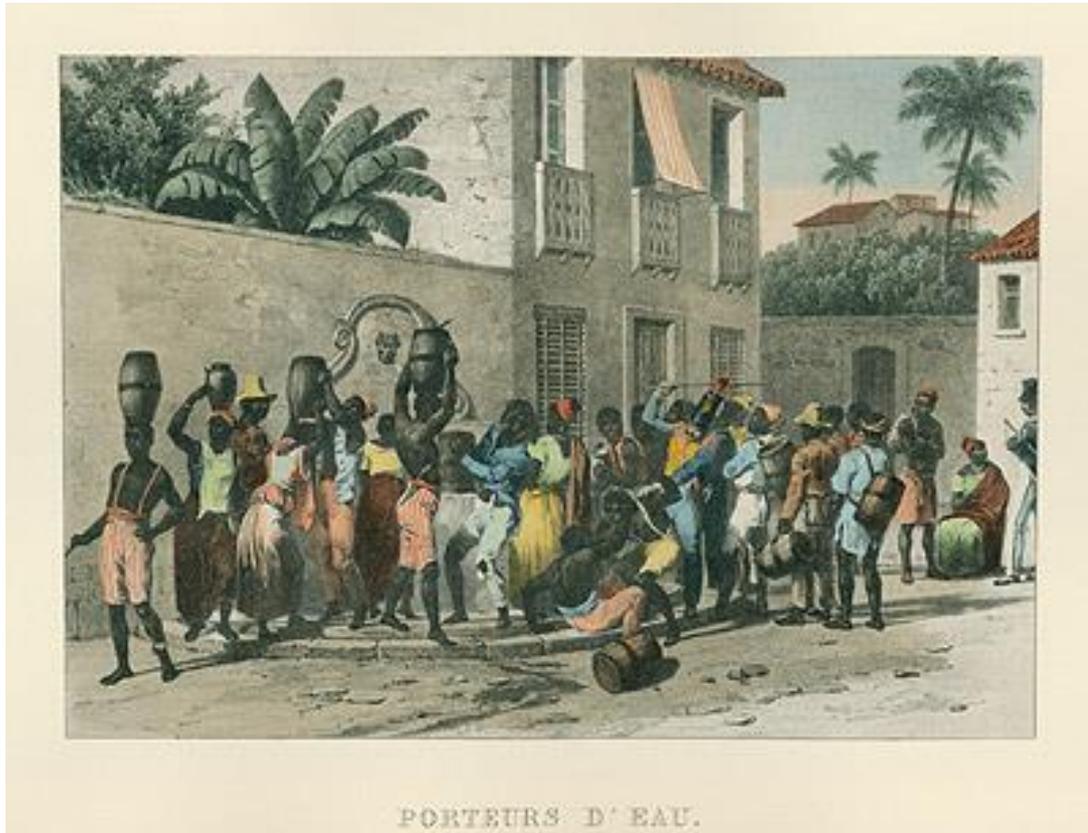


Figura 6 – Carregadores de água  
Extraído de: (ENCICLOPÉDIA ITAÚ CULTURAL DE ARTE E CULTURA  
BRASILEIRAS, 2016)

Da mesma maneira, os excrementos gerados nas residências eram carregados por escravos, chamados “tigres”, e despejados em rios afastados, contaminando os corpos hídricos próximos, como denunciado pelo ilustrador Henrique Fleiuss, no periódico *Semana Ilustrada*, em 1861, conforme exibido na Figura 7.

---

<sup>4</sup> Os negros eram os responsáveis pelo abastecimento de água das residências durante o período Colonial e o Império do Brasil. As tecnologias para a substituição desse trabalho insalubre somente foram difundidas sob a aurora da Abolição da escravatura. (REZENDE e HELLER, 2008, p. 163)



Figura 7 – Escravos chamados "tigres" despejando dejetos em corpos hídricos  
 Extraído de: (FLEIUSS, 1861)

No final do século XIX, fontes e chafarizes já apresentavam desuso em cidades europeias, devido ao avanço dos sistemas de distribuição de água através da canalização de cursos d'água em sistemas subterrâneos, bem como ao uso de sistemas de bombas para captar e aduzir a água dos rios (XAVIER, 2010, p. 33). Em cidades como Londres, houve ainda a proibição do uso de fossas sépticas, tornando compulsória a ligação das residências à rede de coleta pública de esgoto (ABELLÁN, 2017, p. 7-8).

No Brasil, conjuntamente, o Recenseamento da Província apontava o rápido crescimento da população de São Paulo, que passou a ter 31.385 habitantes em 1872 (DIRETORIA GERAL DE ESTATÍSTICA DO IMPÉRIO, 1874), contando, naquele

momento, com apenas vinte chafarizes (CUSTÓDIO, 2013, p. 70). Inúmeras propostas foram consideradas para avaliar a utilização de mananciais próximos à cidade para o abastecimento de água, porém inviabilidades técnicas ou de financiamento postergaram tais empreendimentos (CUSTÓDIO, 2013).

Apenas em 1875 o governo provincial presidido por Sebastião José Pereira firmou contrato com os empresários Antonio Proost Rodvalho e Benedicto Antonio da Silva e com o engenheiro Daniel Makinson Fox, futuramente iniciando a Companhia Cantareira e Esgotos, a fim de canalizar as águas da Cantareira e de realizar a sua distribuição pelas ruas e praças de São Paulo, construindo também mais seis chafarizes contendo quatro torneiras e uma cisterna interna, todas para a distribuição pública de água, e cem válvulas de incêndio, todas em pontos a serem determinados pelo governo (CAMPOS, 2005, p. 201-202).

A despeito de atrasos e revisões dos contratos realizados por ambas as partes, das readequações das obras de engenharia e da busca de formas de financiamento privado adicionais, as obras foram dadas como concluídas pela empresa em 26 de outubro de 1883. Nesse momento, também se fazia necessária a regularização do sistema de esgotos públicos, pela Câmara Municipal, com o objetivo de “regular o uso dos esgotos por parte dos particulares, decretando as medidas convenientes a fim de serem punidas pessoas que cometessem abusos nos despejos dos prédios.” (CAMPOS, 2005, p. 209)

Para equalizar o problema relativo ao esgotamento domiciliar, em 29 de setembro de 1884 foi apresentado um Projeto de Posturas Municipais Relativas ao Serviço da Companhia Cantareira & Esgotos, possuindo 13 artigos que dispunham sobre normas a serem cumpridas para o uso do sistema de esgoto municipal.

Entre as normas, citam-se algumas: (1) os proprietários deveriam ladrilhar estábulos e lavanderias; (2) extinguir latrinas e sumidouros de qualquer uso; (3) obstruir canos que possuem acesso às galerias pluviais; (4) realizar a limpeza dos tubos e esgotos de edificações; (5) permitir o acesso dos funcionários da companhia para a instalação de tubos de esgotos e realizar a manutenção quanto à limpeza de áreas e de objetos (CAMPOS, 2005, p. 210). Tais ações possibilitaram a inauguração do primeiro sistema de esgotos da cidade de São Paulo, em 1882, ligando à rede central todos os distritos existentes, em 4.003 prédios.

Em 1889, em meio à conjuntura da abolição da escravatura (BRASIL, 1888) e da troca de regime político (BRASIL, 1891), o estado sanitário da extinta província piorou, havendo, conjuntamente, surtos epidêmicos de varíola e de febre amarela, causando perdas econômicas no comércio e nas lavouras. Cidades como Campinas e Santos recorreram ao presidente provincial, Dr. Antônio Pinheiro de Uchoa Cintra, o barão de Jaraguá, que em visita às cidades relacionou a causa primordial “à péssima qualidade da água, viciada pelas infiltrações e pela falta de esgotos.” (EGAS, 1926, p. 743)

Em meio à turbulência política, sanitária e econômica, tendo em vista que a Companhia Cantareira começara a apresentar problemas financeiros para a capacidade de execução de suas atividades, iniciou-se, pelo Estado Republicano, “uma reestruturação do aparelho de Estado, [...] com a sua adaptação para as necessidades infraestruturas do período. Era o Estado que chamava para si a tarefa de produção da infraestrutura.” (CAMPOS, 2005, p. 215)

Segundo Rezende e Heller (2008, p. 136), “a acelerada expansão urbana vivenciada pela cidade de São Paulo levava a uma necessidade crescente de investimentos em saneamento, deixando de ser interessante para o capital privado”,

fazendo com que os empréstimos fornecidos pelo governo se mostrassem insuficientes para o cumprimento das obras.

Apesar de existirem revisões contratuais entre as partes, o Estado de São Paulo e a Companhia Cantareira, e de existirem relatórios expedidos por engenheiros sanitários da empresa apontando melhorias que deveriam ser realizadas, houve uma pressão do novo bloco republicado por um melhor fornecimento de serviço sanitário, estipulando a execução de serviços urgentes e de metas que, segundo Campos (2005, p. 220), aos olhos do Governo, pareceriam impossíveis de serem cumpridas. No final de 1890, então, findou-se o encampamento da Companhia pelo Estado por meio do dispositivo legislativo, a Lei nº 62, em 29 de novembro de 1890, sendo agora este o responsável pela execução de suas obras.

Artigo 1º - Fica o Governo autorizado a rescindir e declarar de nenhum efeito o contrato celebrado com a Companhia Cantareira de Esgotos, na data de 29 de novembro de 1890, em vista a impossibilidade, confessada pela companhia, de realizar as obras contratadas.

Artigo 2º - O Governo realizará a encampação do serviço de águas e esgotos, a cargo daquela companhia, em virtude dos contratos [...], por meio de acordo, arbitramento ou desapropriação judicial, [...]. (SÃO PAULO, 1892)

Com o encampamento da Companhia Cantareira, o Estado de São Paulo criou, em substituição, a Repartição de Água e Esgotos da Capital, subordinada à Superintendência de Obras Públicas da Secretaria da Agricultura, pelo Decreto nº 152ª, em 31 de janeiro de 1893 (CUNHA, 2007, p. 154), dando prosseguimento às obras emergenciais na ampliação da adução do abastecimento da Serra da Cantareira, à criação de novas galerias de esgotos e à fiscalização das futuras obras de engenharia sanitárias (CAMPOS, 2005, p. 221).

A estatização da companhia ocorreu em um momento significativo da constituição do Estado republicano, época em que se formaram as suas bases de atuação nos diversos setores que competiam à administração pública. Outro marco significativo é a participação dos engenheiros nessas novas repartições públicas, estruturando e imprimindo suas diretrizes de trabalho [...] (CAMPOS, 2005, p. 226)

Nos anos que se sucederam, os trabalhos realizados pela RAE aumentaram a oferta de água e de esgoto à população. Houve a retomada de obras deixadas pela Companhia Cantareira, como ampliações nos sistemas, a exemplo da construção das represas Billings<sup>5</sup> e Guarapiranga<sup>6</sup>, exibidas, respectivamente, na Figura 8 e na Figura 9.



Figura 8 – Barragem construída para represamento do Rio das Pedras, constituindo a Represa Billings, em 1932  
 Extraído de: (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014)

<sup>5</sup> O complexo Billings é o maior reservatório da RMSPE, na bacia hidrográfica do rio Tietê, com 127 milhões de m<sup>2</sup>. Foi construído em 1927, inicialmente com o objetivo de gerar energia elétrica para a usina Henry Borden, em Cubatão, no litoral de São Paulo (CARDOSO-SILVA, NISHIMURA, *et al.*, 2014, p. 32). A partir de 1958, os mananciais do reservatório passaram a abastecer os municípios de Santo André, São Bernardo e São Caetano do Sul (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

<sup>6</sup> A represa de Guarapiranga ocupa uma área de 630 km<sup>2</sup> divididos entre os municípios de São Paulo, Embu, Itapeverica da Serra, Embu-Guaçu, Cotia, São Lourenço da Serra e Juquitiba. O primeiro uso do seu potencial hídrico foi na geração de energia elétrica da Usina de Parnaíba, por volta de 1908 (SOUZA, 2009). Em 1929, foi realizada a inauguração da adução das águas para o abastecimento público (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).



Figura 9 – Construção da represa Guarapiranga, em São Paulo, em 1906  
Extraído de: (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014)

Campos (2005, p. 224) considera os avanços desse período como “visíveis melhoras conquistadas para o abastecimento, como para a própria condição sanitária da cidade”. Apesar desses avanços, a excessiva subordinação da repartição a interesses de órgãos externos trazia prejuízos às decisões operacionais tomadas por ela. Plínio Whitaker, o último diretor da RAE, entre 1942-1954, apontava a necessidade de reformas administrativas na Repartição.

Subordinação demasiada a outros órgãos externos à mesma e sem interferência dos quais não pode funcionar; estruturação e divisão interna de serviços em desproporção com a tarefa que resultou do rápido crescimento desta capital; falta de uma descentralização de responsabilidades funcionais e de atribuições em sentido descendente de hierarquia, por meio de uma regulamentação adequada. (WHITAKER, 1954, p. 109)

Após uma longa campanha de membros da antiga RAE, em 20 de janeiro de 1954, o governo do Estado criou o Departamento de Águas e Esgotos, o DAE, em

substituição à antiga repartição<sup>7</sup>. Esse departamento teria a autonomia autárquica, com próprio controle administrativo e financeiro, podendo executar livremente seus serviços de interesse coletivo (WHITAKER, 1954, p. 3). Entre suas atribuições, citam-se, segundo a Lei nº 2.627, de 20 de janeiro de 1954:

- a) projetar, executar, ampliar, remodelar e explorar diretamente os serviços de água potável e esgoto sanitário;
- b) fiscalizar eventos que causem a poluição de cursos d'água;
- c) propor taxas nas tarifas de água e esgoto;
- d) lançar, fiscalizar e arrecadar as taxas dos serviços de água e esgotos e de consumo d'água.

Na década de 1960, durante a intervenção nos estados realizada pelo Governo Militar, e sob a égide da Constituição de 1967, reformulações foram realizadas na estrutura organizacional da DAE, visando “à melhoria na qualidade dos serviços prestados à população” (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014, p. 12).

Nesse período de transição política e econômica, ocorriam discussões acerca da modernização do saneamento público, com sua administração devendo tornar-se mais empresarial, sendo defendida a sustentação do modelo a partir da arrecadação tarifária e de outras formas de financiamento (REZENDE e HELLER, 2008, p. 234).

Além disso, a Constituição vigente previa a criação de regiões metropolitanas<sup>8</sup> constituídas de municípios que visariam à realização de serviços de interesse comum

---

<sup>7</sup> Lei estadual nº 2.627 (SÃO PAULO, 1954)

<sup>8</sup> Art. 157 - A ordem econômica tem por fim realizar a justiça social, com base nos seguintes princípios: [...]

§ 10 - A União, mediante lei complementar, poderá estabelecer regiões metropolitanas, constituídas por Municípios que, independentemente de sua vinculação administrativa, integrem a mesma comunidade socioeconômica, visando à realização de serviços de interesse comum. (BRASIL, 1967)

e sob a intervenção do Governo Federal na política econômica e na centralização dos setores públicos. Acreditava-se “[...] que o poder em vigor nos anos de ditadura militar fosse suficiente e capaz de superar o grande obstáculo do processo de transição dos serviços de saneamento dos municípios para as CESBs” (REZENDE e HELLER, 2008, p. 243), portanto, excluindo esses municípios da aplicação dos recursos e da gestão do serviço de saneamento, obrigando-os a concedê-los às CESBs.

Nesse cenário, empresas de economia mista com competências e áreas de atuação especializadas foram criadas, atendendo aos 38 municípios da Região Metropolitana de São Paulo, RMSP: a DAE, que teve sua denominação alterada para Superintendência de Água e Esgotos da Capital, SAEC<sup>9</sup>; a Companhia Metropolitana de Águas de São Paulo, COMASP, que ficaria responsável pela captação, pelo tratamento e pelo fornecimento de água no atacado, vendida para os municípios que realizariam a distribuição aos munícipes<sup>10</sup>; e a Companhia Metropolitana de Saneamento de São Paulo, SANESP, responsável pela interceptação, pelo tratamento e pela disposição final de esgotos<sup>11</sup> (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008).

A aplicação de investimentos, a tomada de empréstimos e a equalização financeira necessária para as novas companhias exigiram a criação de um fundo específico para tal, o Fundo Estadual de Saneamento Básico, FESB<sup>12</sup>, com o objetivo de financiar a execução de obras relativas ao abastecimento de água e ao tratamento de esgotos, atuando tanto no pagamento de despesas de material e consumo destinadas à realização de tais finalidades quanto na capacitação técnica dos

---

<sup>9</sup> Decreto nº 52.457 (SÃO PAULO, 1970a)

<sup>10</sup> Lei estadual nº 10.058 (SÃO PAULO, 1968a)

<sup>11</sup> Decreto-Lei estadual nº 239 (SÃO PAULO, 1970b)

<sup>12</sup> Lei estadual nº 10.107 (SÃO PAULO, 1968b)

profissionais que comporiam as empresas relacionadas, bem como no custeio de trabalhos de pesquisa, entre outras ações de fomento.

Nos anos 1970, sob a vigência do PLANASA e havendo a transferência da competência por parte dos municípios em questões relacionadas ao saneamento para as CESBs, o fracionamento das competências de tratamento e distribuição de água e coleta de esgoto nas empresas paulistas terminaria.

Em 1973, o governo estadual promulgaria duas leis criando sociedades por ações, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SABESP, incorporando as empresas outrora criadas — a COMASP, a SANESP e a SAEC, e o patrimônio da FESB — e a Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas, CETESB.

As competências da SABESP são: “planejar, executar e operar os serviços públicos de saneamento básico em todo o Estado de São Paulo, respeitada a autonomia dos Municípios” (SÃO PAULO, 1973a). Inicialmente, a área de atuação da SABESP se restringiria ao município de São Paulo e, a partir de 1974, expandiu-se para o interior do estado (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008, p. 22). Em 1982, 227 cidades já haviam transferido seus serviços à companhia estadual (SACHS, 1982, p. 42).

Em relação às competências da CETESB, citam-se:

- I – proceder ao licenciamento ambiental de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental;
- II – autorizar a supressão de vegetação e intervenções em áreas consideradas de Preservação Permanente e demais áreas ambientalmente protegidas;
- III – emitir alvarás e licenças relativas ao uso e ocupação do solo em áreas de proteção de mananciais;
- IV – emitir licenças de localização relativas ao zoneamento industrial metropolitano;
- V – fiscalizar e impor penalidades. (SÃO PAULO, 1973b)

Segundo Sachs (1982), esse movimento de centralização de competências corresponde a um processo de redução do espaço organizacional, criando grandes unidades empresariais com o objetivo de concentrar atividades e recursos outrora dispersos em múltiplas agências.

Embora os serviços de saneamento básico, de titularidade dos municípios, fossem facultativos à SABESP, durante a vigência do PLANASA tais serviços deveriam ser transferidos às CESBs como forma de condicionar o acesso aos recursos federais para investimentos na área (REZENDE e HELLER, 2008, p. 270).

Portanto, a centralização de atribuições para uma única entidade de abrangência estadual era defendida por trazer modernização e verticalização da administração empresarial (SACHS, 1982, p. 41), além de favorecer a vinculação de recursos via empréstimos concedidos pelo BNH com a transferência de recursos oriundos do FGTS, servindo também como forma de se obter capital político para os governos vigentes.

Nesse sentido, não deixa de ser sugestiva, à guisa de conclusão, a referência a um diagnóstico recente sobre o setor: “deslocar o executor não deixa de ser uma maneira de centralizar em um nível superior a administração dos favores políticos” (SACHS, 1982, p. 42)

Em 2020, 366 dos 645 municípios do estado de São Paulo são atendidos pela SABESP (SABESP, 2020), incluindo 31 cidades que compõem a RMSP, o que

corresponde a aproximadamente 20 milhões de habitantes. Atualmente, os sistemas de abastecimento que atendem à RMSP, chamados de Sistema Integrado Metropolitano de Água, SIM, são: Cantareira, Guarapiranga, Alto Tietê, Rio Claro, Rio Grande, Alto Cotia, Baixo Cotia, Ribeirão da Estiva e alguns sistemas isolados, somando aproximadamente 65 mil litros de água por segundo (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2010).

#### **1.4 Cobertura do saneamento básico no município de São Paulo**

As constantes mudanças registradas em quase 200 anos de prestação de serviços de distribuição de água, coleta e tratamento de despejos no município de São Paulo demonstram a evolução da cobertura dessas atividades, bem como os desafios enfrentados oriundos das transformações de caráter social, político e histórico ocorridas na cidade, por meio da história da industrialização, da alternância de paradigmas políticos e da imigração da força de trabalho ao longo de todo o século XX.

A Tabela 3 exibe a evolução da rede de água em São Paulo, em número de ligações realizadas, população atendida e extensão da rede de abastecimento, considerando a população em intervalos de aproximadamente 10 anos.

| Ano     | Geral                    | Abastecimento de água        |                                   |   |
|---------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---|
|         |                          | População total (habitantes) | Número de ligações à rede de água | de População atendida pela rede de água (%) |
| 1894    | 160.000                  | 8.642                        | 92,3                              | 73  |
| 1908    | 274.000                  | 23.742                       | Não localizado                    | 416   |
| 1921    | 579.086                  | 29.559                       | Não localizado                    | 661   |
| 1930    | 887.810                  | 101.447                      | 95,74                             | 968   |
| 1945    | 1.696.493                | 179.218                      | 45,5                              | 1.585                                       |
| 1955    | 2.916.000                | 256.459                      | 44,3                              | 2.164                                       |
| 1964/65 | 4.929.674                | 513.130                      | 56,2                              | 5.594                                       |
| 1975    | 7.710.000                | 757.270                      | 68                                | 8.742                                       |
| 1985    | 8.864.706                | 1.614.077                    | 90                                | 15.363                                      |
| 1996    | 9.839.436                | 1.969.249                    | 100                               | 16.659                                      |
| 2008    | 10.886.518 <sup>13</sup> | 2.566.000                    | 93                                | 18.813                                      |
| 2019    | 12.252.023 <sup>14</sup> | 3.074.805                    | 93,5                              | 20.769                                      |

Tabela 3 – Evolução da extensão de rede de água, na cidade de São Paulo  
 Adaptado de: (MASSARA, 2015, p. 55) (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019a, p. 71)  
 (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b, p. 26-28)

Nota-se que, entre 1930 e 1945, momento de turbulência mundial, enquanto o mundo atravessava a crise de 1929 e a Segunda Guerra Mundial, no Brasil, os investimentos na implantação de sistemas de distribuição de água sofreram o seu primeiro impacto, atendendo a menos da metade da população paulistana, de quase

<sup>13</sup> População estimada em 2007, segundo o IBGE (2007).

<sup>14</sup> População estimada em 2019, segundo o IBGE (2019).

2 milhões de pessoas, em grande medida devido à combalida situação política e econômica da ocasião.

Naquele momento, sob o Governo Provisório e o Estado Novo, São Paulo recebeu um grande fluxo imigratório, como outras regiões do Centro-Sul, de estrangeiros que fugiam dos horrores da guerra na Europa e na Ásia e da população nordestina em busca de emprego, em uma conjuntura que combinou a transição do setor cafeeiro para a indústria paulista e o “enfraquecimento do poder local e das economias regionais” no Nordeste brasileiro (GOMES, 2006, p. 144).

[...] havia uma pressão social para a distribuição de terras, que se não fosse “resolvida” poderia estourar em grandes movimentos sociais, reivindicando a reforma agrária. A válvula de escape que o governo encontrou foi estimular a emigração, desafogando e desarticulando possíveis movimentos sociais. Assim, “as migrações internas apareciam antes como solução do que como problema” (GOMES, 2006, p. 145)

Entre as décadas de 1970 e 1980, sob vigência do PLANASA, citado no capítulo anterior, metas de cobertura sanitária foram impostas pelo Governo Federal, assim como a criação de fontes de financiamento, através do BNH, e de empresas estatais para aplicar o investimento em grandes obras de captação, com a construção de novas represas e estruturas de adutoras, de modo que aproximadamente 30% da população paulistana passou a ser abastecida pelo sistema público de distribuição de água.

Após a década de 1990, quase toda a população paulistana passou a ter abastecimento de água residencial, não chegando, entretanto, à universalização “a área atendível do município de São Paulo” (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019a, p. 71).

Atualmente, o abastecimento de água no município de São Paulo é composto por dois tipos de sistemas: o SIM e o sistema isolado. Contudo, quase toda a totalidade é proveniente do SIM.

Os mananciais integrados ao SIM que atendem ao município de São Paulo são o Cantareira, a Guarapiranga, o Alto Tietê e o Rio Claro, onde a água é captada, tratada por 5 Estações de Tratamento de Água (ETA)<sup>15</sup> e distribuída para 96 setores de abastecimento, nas cinco regiões da cidade: Norte, Sul, Leste, Oeste e Centro (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b, p. 29-30).

A Figura 10 exibe uma cartografia com as divisões das áreas atendidas pela SABESP, na RMSP, exibindo, outrossim, na delimitação do município de São Paulo, os corpos hídricos que compõem o SIM, bem como as divisões de negócio que organizam os setores de abastecimento geridos pela SABESP.

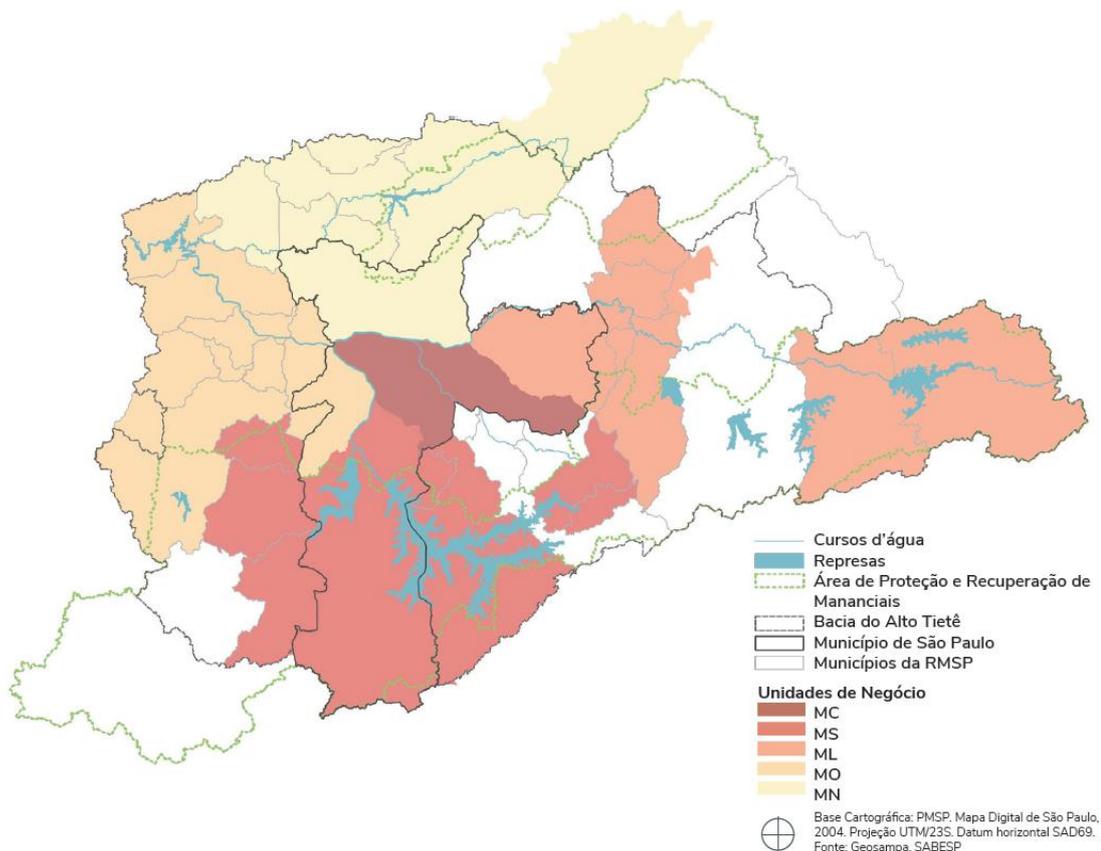


Figura 10 – Mananciais do Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMSP  
 Extraído de: (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b, p. 30)

<sup>15</sup> As ETAs que abastecem o município de São Paulo são: Guaraú, Eng. Rodolfo José da Costa e Silva (RJCS), Taiapuêba e Casa Grande. A ETA Guaraú é a maior da SABESP e a segunda maior do Brasil, com capacidade de tratar 33m<sup>3</sup>/s (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b, p. 33).

Em relação à coleta e ao tratamento de esgotamento sanitário, o município de São Paulo possui indicadores piores que os registrados na distribuição de água potável.

Apesar de o Estado de São Paulo apresentar os maiores valores em investimentos no saneamento básico em relação às demais unidades da federação, a capital paulistana ocupa, em uma lista com as 100 maiores cidades do país, em 2020, a 19ª posição em oferecimento de serviços de saneamento básico para a população, havendo no tratamento de esgoto coletado o seu pior indicador, segundo levantamento do Instituto Trata Brasil (2020).

A Tabela 4 mostra indicadores relacionados à rede de esgoto do município de São Paulo, com dados agregados entre os anos de 2017 e 2020.

| <b>Indicador</b>                          | <b>Índice</b>                |
|---|------------------------------|
| Atendimento total de esgoto - coleta (%)  | 96,30                        |
| Atendimento urbano de esgoto - coleta (%) | 97,00                        |
| Esgoto tratado por água consumida (%)     | 64,66                        |
| Geração de esgoto diária <sup>16</sup>    | 1,5 milhão de m <sup>3</sup> |
| Extensão da rede (km) <sup>17</sup>       | 17.305                       |

Tabela 4 – Indicadores relacionados à cobertura da rede de esgoto, no município de São Paulo  
Extraído de: (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2020) (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b)

A rede de esgoto da RMSP, assim como a rede de distribuição de água, é formada por um Sistema Principal, também chamado de Sistema Integrado, e por uma rede secundária, constituída por sistemas próprios, os chamados Sistemas Isolados.

<sup>16</sup> Segundo levantamento da SABESP, em 2017 (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b, p. 38).

<sup>17</sup> Ibidem (p. 42).

O Sistema Principal de esgotamento sanitário é formado por 5 estações de tratamento, exibidas na Figura 11, de modo que 4 delas são responsáveis pela coleta, pelo afastamento e pelo tratamento de esgoto do município de São Paulo. São elas: Barueri, ABC, Parque Novo Mundo e São Miguel, quase todas próximas da saturação (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b, p. 40-44).

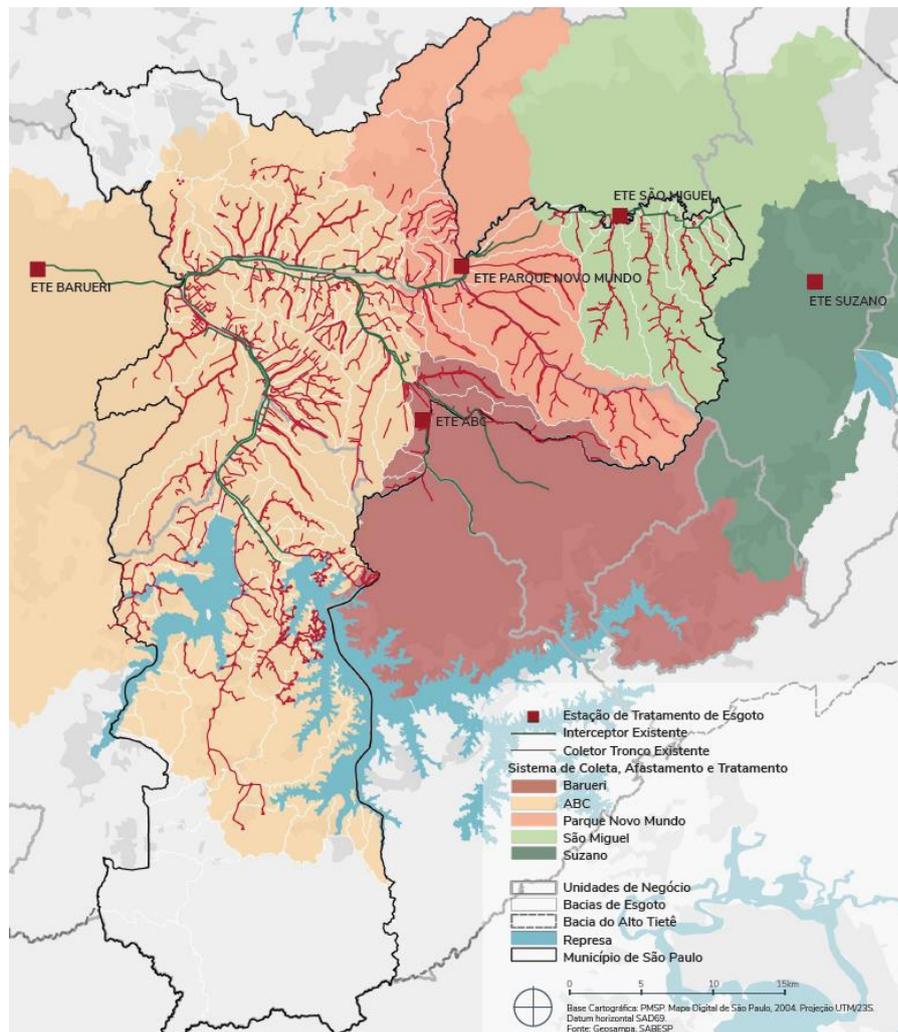


Figura 11 – Cartografia com a distribuição dos sistemas de esgotamento sanitário da RMSP  
Adaptado de: (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b)

Em regiões mais distantes, como a zona rural localizada na região sul do município, sistemas isolados e individuais são adotados, como o uso de fossas sépticas.

O Plano de Saneamento Municipal de São Paulo (2019b, p. 38) aponta como uma das causas da carência de infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto áreas de favelas e loteamentos irregulares, apontando que, a despeito das ligações de imóveis à rede pública de esgotos ser obrigatória onde estiver disponível e tratada no perímetro do imóvel, por exemplo, como o uso fossas sépticas, quando não houver infraestrutura, por lei municipal<sup>18</sup>, ela pode não ser realizada em caso de se apresentar algum impedimento técnico para tal.

Além disso, segundo a SABESP, 1,4 milhão de litros de esgoto são descartados irregularmente por mês (VELASCO, 2017), mesmo em áreas da cidade onde existem redes coletoras de esgotos, uma vez que os proprietários dos imóveis, responsáveis pela obra de ligação à rede, não fazem a adequação necessária e optam pelo descarte irregular.

Outro fator de resistência quanto à ligação dos imóveis às redes de coleta de esgoto é o aumento gerado na tarifa de água, cobrada pela concessionária, que passa a calcular também a coleta de esgoto, fazendo com que o valor dobre.

Muita gente não tem informação nenhuma. As empresas podem fazer mais do que fazem, principalmente por meio de conscientização do cidadão. Os prefeitos também devem fazer mais ações de informação e devem cobrar o morador. Além disso, as pessoas têm que cumprir seu papel de cidadania” (VELASCO, 2017)

A Figura 12 e a Figura 13 exibem, respectivamente, duas situações irregulares de despejo de esgoto: uma ligação irregular, em que o esgoto é despejado na galeria de águas pluviais, identificado por técnicos da SABESP com o uso de corantes; e o despejo de esgoto de diversos imóveis diretamente no córrego em um bairro da zona oeste do município de São Paulo.

---

<sup>18</sup> Decreto municipal nº 57.776 (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017)



Figura 12 – Ligação irregular de esgoto residencial à rede pluvial identificada pelo uso de corante  
Extraído de: (VELASCO, 2017)



Figura 13 – Despejo irregular de esgoto residencial em um córrego  
Extraído de: (GOOGLE, 2020)

Dados de 2017 apontavam que aproximadamente 54 mil imóveis factíveis não estavam ligados à rede de esgoto no município de São Paulo (VELASCO, 2017), como mostra a Figura 14, que aponta as regiões norte e oeste como possuidoras dos maiores índices de ligações residenciais factíveis, acima de 3%.

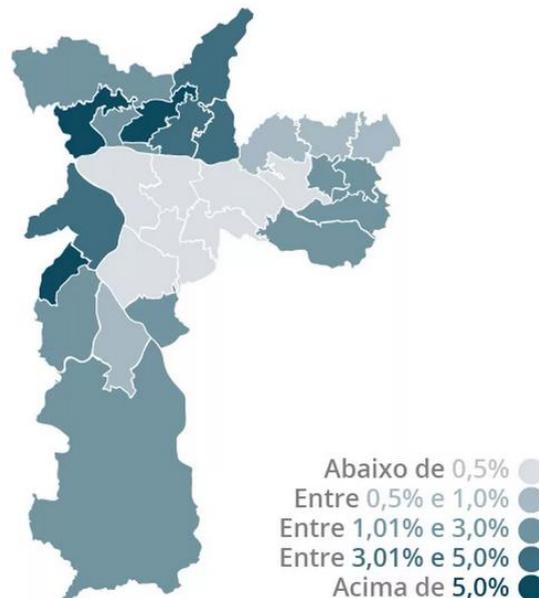


Figura 14 – Índices de imóveis nos bairros de São Paulo que não estão ligados à rede de esgoto, mesmo com a rede disponível  
Adaptado de: (VELASCO, 2017)

Factível é o termo usado para casos em que a rede de esgoto está disponível na rua do imóvel, porém a ligação não é feita. A solicitação de ligação é feita por meio do contato com a concessionária SABESP, havendo gratuidade no serviço no caso de certa especificação de diâmetro de ligação e se for a primeira ligação do imóvel (SABESP, 2015).

Além dos imóveis factíveis, outro problema enfrentado pelo município e pela concessionária é a realização de obras em regiões de favelas e em regiões menos acessíveis, passando por problemas que vão desde a regularização das áreas até os desafios geográficos para a realização de obras de engenharia, cabendo a discussão de novas propostas para tecnologias alternativas de tratamento.

## **2. A INTERNET DAS COISAS E AS SUAS TECNOLOGIAS**

Este capítulo apresenta um panorama do movimento de transformação tecnológico do século XXI, a intitulada internet das coisas, e alguns de seus vetores de aplicação, como o massivo uso de computadores conectados através da Internet e como pequenos dispositivos especializados interconectados por redes de comunicação construídas especificamente para a grande escala pretendida.

### **2.1 Uma nova revolução na indústria moderna**

Desde que o homem transformou o trabalho manual para um modelo de execução mecanizado, no século XVIII, através das máquinas a vapor, compostas por roldanas, engrenagens e pistões, capazes de transformar a energia gerada pela pressão do vapor da combustão em energia cinética, os meios de produção foram igualmente transformados, chegando a níveis de escala inéditos, dado que o trabalhador não seria mais o gargalo que limitaria a produção (SOUSA, 2020a).

Esse acontecimento, ocorrido na Inglaterra entre 1760 e 1840, ficou conhecido como a Primeira Revolução Industrial, iniciando a produção mecânica de teares e a construção das primeiras linhas férreas para o transporte de locomotivas, em 1802.

A partir de 1850, pesquisas sobre novas formas de energia, como a eletricidade e o uso de petróleo, permitiram um aumento de produção se comparado à primeira revolução, em que se fazia uso da combustão de outras matérias minerais, como o carvão (SOUSA, 2020b). Ocorrendo entre os anos de 1850 até o término da Segunda Guerra Mundial, em 1945, nomeia-se esse período como a Segunda Revolução Industrial, no qual houve a adoção de fontes de energia mais eficientes e,

também, o advento das linhas de montagem sistematizadas, por precursores como o Henry Ford e o Sakichi Toyoda.

Após a década de 1950, houve o desenvolvimento da alta tecnologia na forma de transistores. Os primeiros computadores foram criados e, continuando a evolução, tendo ocorrido o advento da engenharia eletrônica, deu-se o desenvolvimento dos transistores, bem como o surgimento dos computadores pessoais, da Internet e, então, dos sistemas informatizados. Todo esse período é conhecido como a Terceira Revolução Industrial, ou a Revolução Técnico-Científica Informatizada (SOUSA, 2020c).

Chegando à atualidade, após a virada do século XXI, uma nova proposta de revolução surgiu durante discussões do Fórum Econômico Mundial, a Quarta Revolução Industrial. Diferentemente das anteriores, exibidas na Figura 15, esta ocorreu imediatamente após a anterior, com a consolidação das redes de computadores e com a contínua evolução dos dispositivos: de computadores pessoais para assistentes digitais, celulares inteligentes, os *smartphones*, e redes de pequenos sensores acoplados a objetos do dia a dia. Além disso, a oferta de Internet passou a ser quase como um serviço de utilidade básica, como água, luz ou gás encanado, e, no Brasil, especificamente, protegido por Lei, para o direito de acesso universal<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Lei Federal nº 12.965 (BRASIL, 2014).

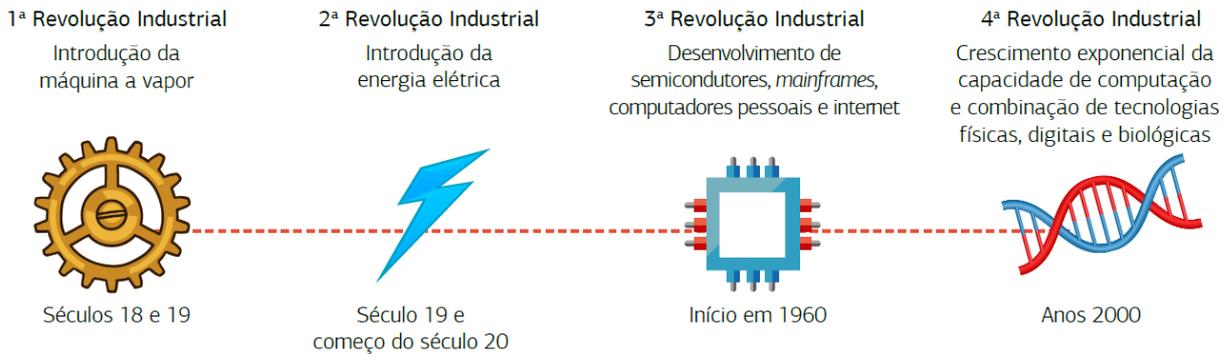


Figura 15 – As quatro revoluções industriais  
Adaptado de: (MAGALHÃES e VENDRAMINI, 2018, p. 42)

Segundo Schwab (2019), essa nova revolução também se dará pela redução do custo de fabricação de dispositivos cada vez mais integrados entre si e pelo crescente uso da inteligência artificial e da aprendizagem automática de sistemas computacionais.

Diferentemente das revoluções anteriores, em que havia uma clara mudança de paradigma tecnológico — por exemplo, com o desenvolvimento de novas matrizes energéticas —, Schwab (2019) defende que essa nova revolução surge em decorrência de três fatores que vêm sendo observados: (1) a velocidade das mudanças em ritmo exponencial nos últimos anos, como resultado de um mundo interconectado, graças às expansões das redes após a década de 1990; (2) a amplitude e a profundidade como base de combinação de diversas tecnologias, cada vez mais alterando o cotidiano das pessoas e moldando o seu comportamento; (3) o impacto sistêmico, que envolve a transformação de sistemas inteiros dentro de países, como empresas e governos, e a relação desses com a sociedade.

A quarta revolução industrial, no entanto, não diz respeito apenas a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas. Seu escopo é muito mais amplo. [...] O que a torna fundamentalmente diferente das anteriores é a fusão dessas tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos. (SCHWAB, 2019, p. 17)

Dentre as tendências observadas pela evolução do domínio físico de objetos e dispositivos a comporem essa nova revolução, destacam-se o desenvolvimento e o uso de veículos autônomos, a impressão em espaço tridimensional, a robótica avançada e a criação de novos materiais, mais leves, fortes e recicláveis.

Em relação às evoluções do domínio digital, destacam-se a evolução do conceito originado na década de 1990, a internet das coisas, em que a cada ano milhões de novos dispositivos são conectados à Internet ou a redes inteligentes, de modo que possam operar em conjunto, compartilhando dados em áreas cada vez mais diversificadas e integradas ao dia a dia das pessoas.

Também se elenca a adoção do *blockchain* e a economia sob demanda, através de plataformas de serviços tecnológicos, que oferecem o compartilhamento de uso de veículos, de imóveis, bem como a contratação de serviços de utilidade doméstica, transporte, comida, compras em geral, por meio de plataformas unificadas, com catálogos acessíveis e com trocas de informações, *feedbacks*, bidirecionais.

O avanço do domínio biológico trará mudanças significativas, com a possibilidade de sequenciamento de genomas por meio de complexos *softwares* de aprendizado de máquina, devendo ocorrer a capacidade de modificação de genes e a criação da biologia sintética aliada à fabricação em 3D de tecidos vivos, como pele, ossos, coração, fígado e tecido vascular, em um processo chamado de bioimpressão tridimensional.

Haverá impactos esperados no decorrer dos anos. Entre eles, citam-se os econômicos, que decorrerão da estruturação de empresas de manufatura em menor escala, com a construção aditiva proporcionada pela impressão em espaço tridimensional e com cadeias de fornecimento mais curtas (MAGALHÃES e VENDRAMINI, 2018), uma vez que o processo de fabricação tenderá a ser

personalizado, contrariamente aos bens manufaturados produzidos em massa. Além disso, a economia sob demanda em sistemas digitais também mudará o paradigma de como negócios poderão ser realizados entre o consumidor e o fornecedor, tendo em vista que o relacionamento ocorrerá totalmente em plataformas.

Por fim, talvez o impacto de maior importância seja o social, com a mudança no perfil das ocupações em postos de trabalho. A automatização de tarefas repetitivas, intensivas e de precisão já estão sendo feitas, e esses profissionais provavelmente precisarão explorar novas competências, cabendo também aos líderes “preparar a força de trabalho e desenvolver modelos de formação acadêmica para trabalhar com (e em colaboração com) máquinas cada vez mais capazes, conectadas e inteligentes” (SCHWAB, 2019, p. 49)

## **2.2 Internet das coisas**

Em linhas gerais, a internet das coisas, *Internet of Things*, ou simplesmente IoT, é um domínio de aplicação que integra diferentes campos tecnológicos e sociais, embora não possua uma única definição possível. Diversas organizações de pesquisa, como a IEEE, a ETSI e o IETF definem internet das coisas de maneira condensada, como: “uma rede de itens — cada um com sensores embutidos — conectada à Internet” (MINERVA, BIRU e ROTONDI, 2015).

A concepção desse termo surgiu na década de 1990, pelo cientista da computação Mark D. Weiser, em um artigo publicado na revista científica *Scientific American* (1991), introduzindo o termo computação ubíqua, o qual se tratava de uma observação realizada por ele, prevendo que, daquele em momento em diante, um número maior de dispositivos eletrônicos seria incorporado ao cotidiano das pessoas, de maneira que os computadores estivessem em todos os lugares possíveis,

adaptando-se ao ambiente sem requererem o mínimo de inteligência artificial. Segundo Weiser, assim como centenas de volts atravessando fios dentro de uma parede de uma sala são invisíveis à maioria das pessoas, centenas de computadores no ambiente também serão invisíveis ao senso comum. As pessoas irão simplesmente usá-los inconscientemente em suas tarefas diárias.

Essa interconexão entre dispositivos distintos, muito antes dos padrões e protocolos desenvolvidos juntamente à expansão da Internet, era, nos anos de 1980, resolvida com tecnologias de radiofrequência, inventadas ainda nos anos de 1930, como uma evolução dos radares empregados pela engenharia militar, no contexto da Segunda Guerra Mundial (MINERVA, BIRU e ROTONDI, 2015). Essa solução de radiofrequência, miniaturizada em pequenos *chips* que permitiam a comunicação entre dispositivos próximos, permitiu, após os anos de 1970, o controle de maçanetas eletrônicas e o rastreamento de materiais perigosos em plantas industriais para desenvolvimento de pesquisas nucleares, por exemplo, tendo sido cada vez mais empregada em soluções de conexão entre objetos, como identificação de veículos em rodovias, cabines de pagamento automático em pedágios, entre outras aplicações civis (MINERVA, BIRU e ROTONDI, 2015).

O crescimento no desenvolvimento do RFID, no início dos anos 2000, deu-se por meio de um consórcio entre empresas junto ao laboratório Auto ID, no MIT. Segundo os pesquisadores dessa universidade (2018), as etiquetas RFID, exibido na Figura 16, possuem o menor custo para o emprego em larga escala como método de identificação de grandes volumes nas cadeias de suprimento de grandes indústrias (MINERVA, BIRU e ROTONDI, 2015).

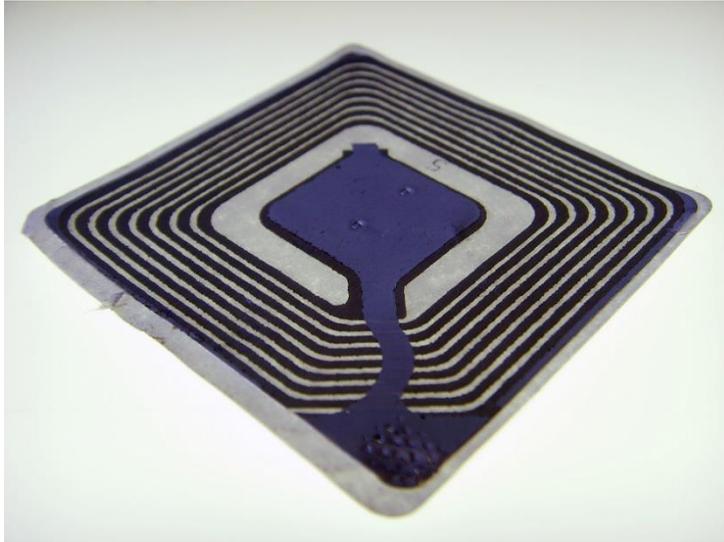


Figura 16 – Etiqueta RFID  
Extraído de: (SMOLAKS, 2012)

A informação armazenada está sempre disponível nessa etiqueta, dotada de um *chip*, sem que formas de alimentação externas sejam necessárias. Com o desenvolvimento bem-sucedido dessa tecnologia, muitas foram as aplicações que surgiram com essa nova maneira de conectar dispositivos, dos mais diversos usos e características, viabilizando a computação ubíqua, certa vez idealizada por um cientista da computação.

Após os anos 2000, houve uma rápida inclusão de dispositivos conectados à Internet, que além dos computadores incluíam: celulares, televisores, eletrodomésticos, e uma série de dispositivos que, dotados de conectividade, foram denominados inteligentes, – do inglês, *smart* – com recursos que aproveitam as redes de dispositivos conectados para oferecer funcionalidades de geolocalização, transmissão e emparelhamento de dados, entretenimento, monitoramento, entre outras capacidades.

Dois fatores que podem ter resultado neste rápido crescimento de dispositivos, deve-se a diminuição do tamanho físico dos transistores<sup>20</sup>, exibido na Figura 17, além da diminuição do custo de produção de semicondutores ao longo dos anos, conforme exibido na Figura 18, e hoje estando presentes em casas, roupas e acessórios, cidades, redes de transportes e de energia, e em diversas fases das linhas de produção, na indústria e em outros setores produtivos (SCHWAB, 2019, p. 27).

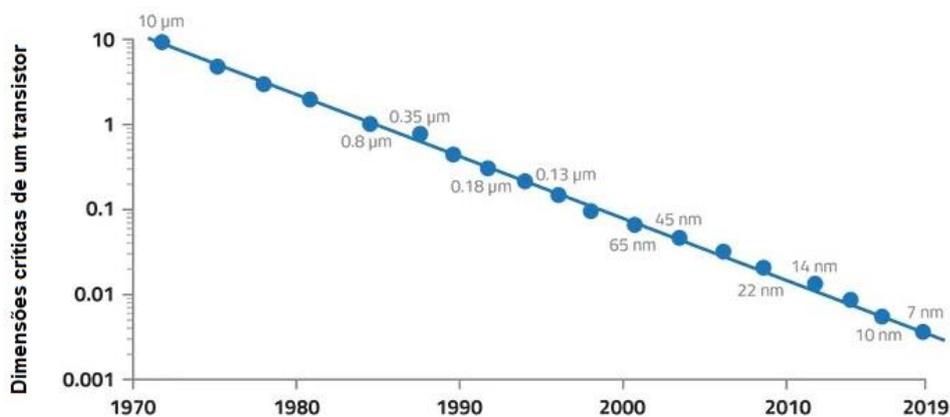


Figura 17 – Evolução temporal das dimensões de um transistor  
Adaptado de: (DRAEGER, 2019, tradução nossa)

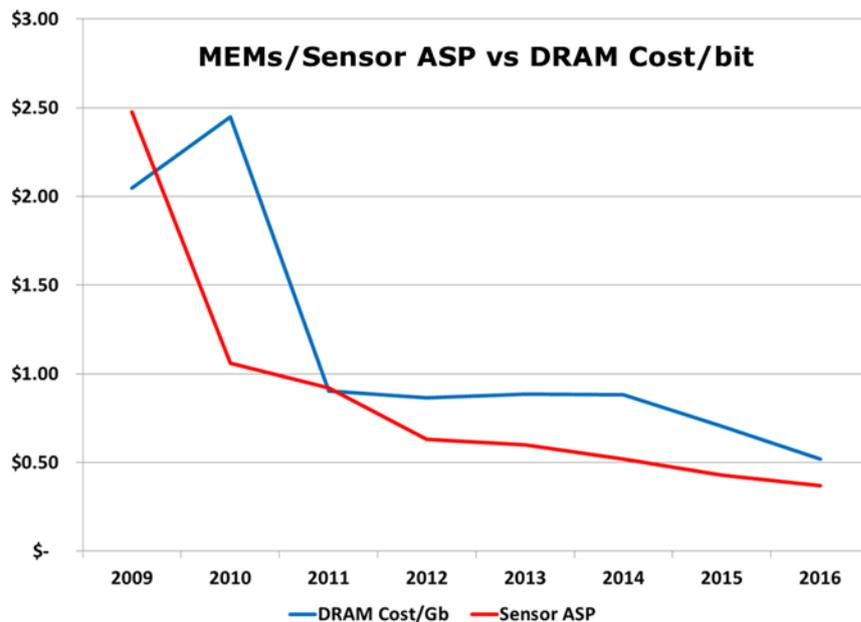


Figura 18 – Evolução temporal do custo de fabricação de sistemas eletromecânicos e memória semicondutora  
Extraído de: (ITOW, 2017)

<sup>20</sup> Na década de 1970, os transistores eram fabricados em tecnologia de 10 $\mu\text{m}$ , já em 2019 os *chips* diminuíram e são fabricados em tecnologia de 7nm, mais de mil vezes menor que o tamanho anterior.

### 2.3 Redes *Low Power Wide Area*

As redes *Low Power Wide Area* (LPWAN) são redes de comunicações sem fio entre máquinas, ou *Machine-to-Machine* (M2M), projetadas para serem altamente escaláveis, para operarem em comunicação com dispositivos de baixo consumo energético, com muitos equipamentos simultâneos em uma grande área de cobertura (SANCHEZ-IBORRA e CANO, 2016).

As LPWANs permitem a criação de redes privadas de comunicação M2M sem a necessidade de adição de *gateways* de comunicação intermediários, servindo de alternativa às redes tradicionais de curto alcance, como o *Wi-Fi*, o *ZigBee* e o *Bluetooth*, e as redes de longo alcance usadas pelas empresas de telecomunicações, as *Global System for Mobile Communications* (GSM), e suas variações e gerações 3G, 4G e 5G (SANCHEZ-IBORRA e CANO, 2016), comumente usadas para a comunicação de padrão celulares e para transmissão de dados em protocolos de alto nível, a exemplo dos mais usados atualmente, o *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) e o *HTTP Live Streaming* (HLS), responsáveis pelas aplicações Internet e todas as outras que fazem uso dessa, como: redes sociais, e-mails, plataformas de vídeo, entre outras.

| <b>Tecnologia</b>   | <b>Eficiência energética</b> | <b>Custo por conexão</b> | <b>Taxa de transferência de dados</b> | <b>Alcance</b> |
|---|------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------|
| LPWAN   | Alta                         | Baixo                    | Baixa                                 | Longa          |
| WSN ( <i>Zigbee</i> ,<br>6LoWPAN)                                       | Alta                         | Baixo                    | Baixa                                 | Curta          |
| Comunicações<br>de curto<br>alcance ( <i>Wi-Fi</i> , <i>Bluetooth</i> ) | Média                        | Baixo                    | Alta                                  | Curta          |
| GSM   | Baixa                        | Médio                    | Alta                                  | Longa          |
| Satélite  | Baixa                        | Alto                     | Média                                 | Longa          |

Tabela 5 – Comparação entre algumas redes sem fio usadas para a comunicação M2M  
Adaptado de: (SANCHEZ-IBORRA e CANO, 2016)

Observando a Tabela 5, que demonstra as diferenças entre os tipos de redes sem fio, evidencia-se o ponto principal no qual foi concebida a LPWAN: longo alcance, com alta eficiência energética e baixo custo por conexão, permitindo, assim, que centenas ou milhares de pequenos dispositivos se conectem à infraestrutura simultaneamente para, em curtos períodos de tempo, transmitirem informações compactadas, capturadas pelos mais diversos tipos de sensores, com o objetivo de capturar variações entre os fenômenos físicos analisados.

Uma vez recebidos os dados de telemetria, através dos sensores, pelas bases receptoras, esses serão sincronizados com servidores, usualmente em ambientes de computação em nuvem, como exibido na Figura 19, tornando-se uma solução economicamente viável para trabalhos sensoriais em larga escala, em diversos tipos de ambientes, urbanos ou rurais, por exemplo: controle de iluminação urbana *in loco*, gestão de redes de abastecimento sanitário e galerias pluviais, agricultura realizada com precisão ao analisar minuciosamente a umidade, a temperatura, entre outras características do solo em lavouras (ADELANTADO, VILAJOSANA, *et al.*, 2017).

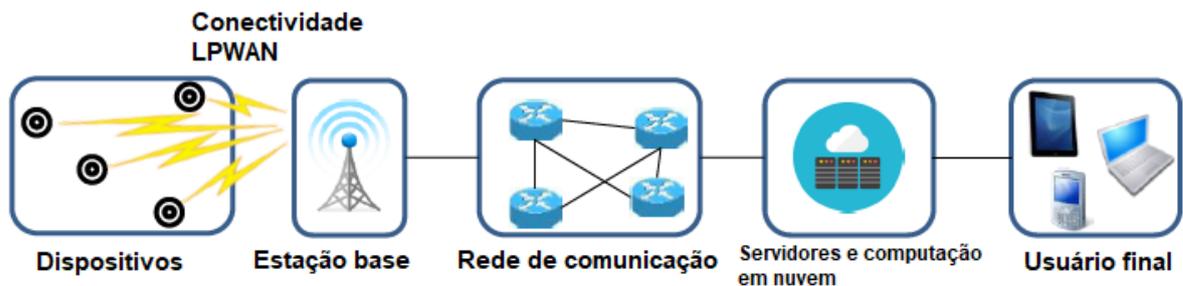


Figura 19 – Arquitetura de rede LPWAN  
Adaptado de: (SANCHEZ-IBORRA e CANO, 2016)

Atualmente, existem diversas empresas e consórcios privados de telecomunicações fornecendo os serviços de conectividade LPWAN, com operações em diversos países. Entre essas empresas, citam-se a americana LoRaWAN — formada pelo consórcio LoRa Alliance<sup>21</sup>, com operações no Brasil, incluindo grandes empresas do setor como IBM, Cisco, HP, Semtech — a Ingenu, propriedade de

<sup>21</sup> (LORA ALLIANCE, 2021)

empresa homônima<sup>22</sup>; e a rede francesa Sigfox<sup>23</sup> — que também fornece serviços com ampla cobertura em território brasileiro, conforme exibido na Figura 20.

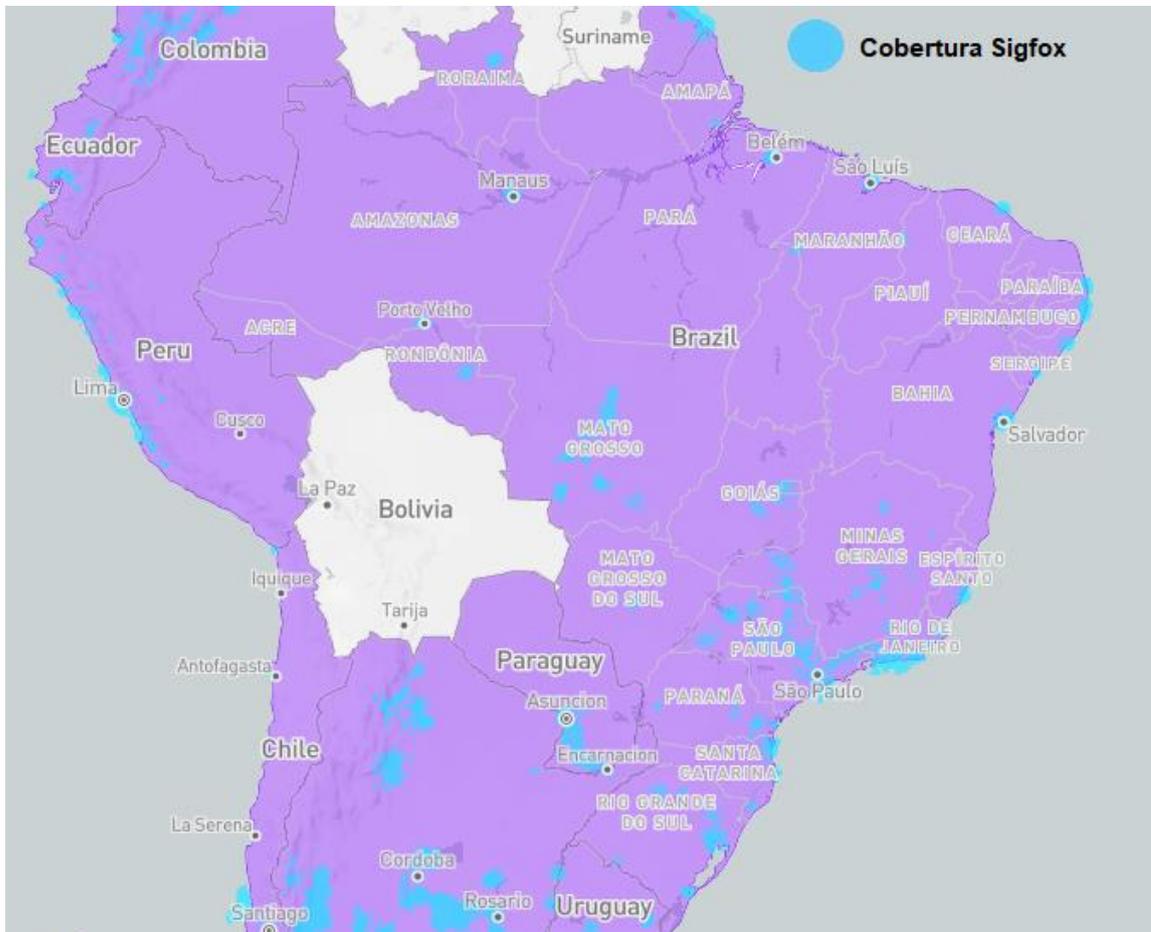


Figura 20 – Cobertura da rede Sigfox no Brasil, em 2021  
Adaptado de: (SIGFOX, 2021)

<sup>22</sup> (INGENU, 2021)

<sup>23</sup> (SIGFOX, 2021)

### **3. TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA O SANEAMENTO BÁSICO INTELIGENTE**

Este capítulo apresenta pesquisas realizadas com inovações tecnológicas voltadas para o saneamento básico. Esses estudos são propostos por organismos internacionais, universidades, governos e empresas de diversos países, unindo os processos, os serviços públicos e a sociedade beneficiária desse movimento. O objetivo será apresentar e discutir a viabilidade das soluções no contexto de regiões desassistidas no município de São Paulo, por meio da adoção de IoT, como: o uso em larga escala de sensores; o uso de etiquetas de identificação por infravermelho; e o uso de computação ubíqua, com coleta e processamento de dados por redes de computadores na nuvem.

#### **3.1 Desafios enfrentados e oportunidades encontradas nos serviços de saneamento básico**

A SABESP, em 2018, convocou uma chamada pública para interessados apresentarem soluções inovadoras que contribuíssem para o saneamento básico nas temáticas de experiência do consumidor, como uma melhor aferição do consumo, visando à redução de perdas e a novas tecnologias para o saneamento básico, bem como à eficiência operacional e energética, todas com o objetivo de aprimorar os serviços já fornecidos à população.

Dentro das temáticas apresentadas, alguns desafios foram listados pela SABESP (2018), relacionados à prestação do serviço final ao consumidor, como requisitos para uma melhor qualidade no fornecimento de saneamento básico para a população, em cada área de atuação da concessionária.

Entre os desafios relacionados ao fornecimento e à qualidade do serviço de saneamento básico que possuem um impacto direto à prestação de serviço, seja para o aumento da abrangência da rede, na qualidade dos serviços fornecidos, seja no balanço entre o meio ambiente e à população, foram extraídos oito desafios que serão discutidos nos próximos capítulos, sob a perspectiva da realização através de IoT.

| <b>Desafio 1: Como inovar na apuração de consumo (água e esgoto)</b>   |
|--|
| <b>Benefícios esperados</b>  |
| Redução de problemas de acesso ao medidor  |
| Ampliação da agilidade para identificação de vazamentos não visíveis dentro dos imóveis  |
| Possibilidade de leitura remota e envio de conta por meio digital  |
| Hidrometria por telemedição  |
| Utilização da rede sem fio do cliente com segurança para o fornecimento de consumos, conta, histórico, e comunicações, facilitando a gestão de consumos por parte do cliente e da SABESP |
| Alertas para casos de vazamento  |

Tabela 6 – Desafios propostos para a inovação na apuração do consumo de água e esgoto  
Extraído de: (SABESP, 2018)

Os desafios apresentados na Tabela 6 buscam equalizar dificuldades operacionais na apuração do consumo dos pontos de ligação, residenciais ou comerciais.

Atualmente, esse procedimento é realizado mensalmente por meio de colaboradores da Companhia que se deslocam fisicamente aos endereços para realizar a medição do consumo, que somente é realizada com o acesso físico ao

hidrômetro, havendo, por fim, a impressão e a entrega da conta ao cliente (SABESP, 2018).

Situações de ausência do cliente, ou situações em que haja dificuldade de acesso ao hidrômetro, ou situações em que, outrossim, haja comprometimento da segurança do colaborador, entre outros, são frequentes, o que compreendeu, no primeiro semestre de 2018, somente na RMSP, a solicitação de aproximadamente 86.000 emissões de segunda via da tarifa (SABESP, 2018), gerando impactos negativos na agilidade e, conseqüentemente, na qualidade e na assertividade do relacionamento e do serviço prestado à população.

---

**Desafio 2: Como melhorar a detecção e reduzir as perdas de água nos sistemas de adução e distribuição**

---

**Benefícios esperados**

---

Maior eficiência na utilização dos recursos hídricos, com prolongamento da curva de atendimento à demanda

---

Redução dos custos operacionais, inclusive de energia elétrica

---

Identificação e validação de novos métodos de conserto de adutoras e redes

---

Redução no tempo de atendimento das ocorrências

---

Tabela 7 – Desafios propostos para melhorias na detecção e na redução de perdas de água nos sistemas de adução e distribuição  
Extraído de: (SABESP, 2018)

As perdas totais de água são divididas entre perdas reais (ou físicas) e perdas aparentes (ou não físicas), sendo a primeira correspondente aos volumes não consumidos, perdidos por meio de vazamentos entre as ETAs e os pontos de ligação residenciais ou comerciais, e a segunda correspondente aos volumes consumidos, porém não contabilizados pela companhia por razões de fraude, irregularidades e medição imprecisa dos hidrômetros (SABESP, 2018).

Segundo o PLANSAB do município de São Paulo (2019b, p. 35), os indicadores de perdas reais e totais são de 227l/dia/lig.<sup>24</sup> e 342l/dia/lig., correspondendo a aproximadamente 34,4% do volume gerado. A maior fração das perdas concentra-se em vazamentos, correspondendo a 23% do volume total.

---

**Desafio 3: Como detectar e combater ligações clandestinas, irregulares e fontes alternativas**

---

**Benefícios esperados**

---

Garantir que a qualidade de água distribuída pela SABESP não seja misturada com água de qualidade não conhecida

---

Garantir que a população tenha acesso à água de boa qualidade fornecida pela SABESP

---

Reduzir perdas comerciais de água distribuída

---

Ter indicadores de cobertura mais precisos

---

Tabela 8 – Desafios propostos para a detecção e o combate de ligações clandestinas  
Extraído de: (SABESP, 2018)

Segundo o PLANSAB do município de São Paulo (2019b, p. 35), as fraudes correspondem a aproximadamente 4% do volume total gerado, e o principal método empregado no seu combate dá-se por denúncias realizadas para a concessionária.

O combate a ligações irregulares é realizado por inspeções visuais de colaboradores da concessionária, o que se torna dificultoso, haja vista o tamanho da área a ser fiscalizada.

Além das ligações clandestinas, irregulares e de fontes alternativas, como o uso de caminhões-pipa não autorizados para o abastecimento de água, o despejo

---

<sup>24</sup> Unidade de medida para litros de perda por dia e por ligação, desenvolvida pelo Ministério do Desenvolvimento Regional para o SNIS (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2019).

pluvial diretamente nas galerias de esgoto também exige uma fiscalização *in loco* e rotineira das autoridades, como é exibido na Figura 21, na qual os agentes autuaram proprietários de imóveis na região central do município por ligações clandestinas de despejo pluvial e realizaram o tamponamento dos bueiros irregulares (SECRETARIA ESPECIAL DE COMUNICAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2020).



Figura 21 – Fiscalização em ligações de bueiros clandestinas  
Extraído de: (SECRETARIA ESPECIAL DE COMUNICAÇÃO DO MUNICÍPIO DE  
SÃO PAULO, 2020)

---

**Desafio 4: Como enfrentar a recorrente degradação dos recursos hídricos  
(ocupações irregulares, esgotos clandestinos etc.)**

---

**Benefícios esperados**

---

Melhorar a qualidade dos mananciais com redução de cursos e riscos, integrando ações e manutenção da qualidade de água

---

Manter e conservar áreas de propriedade da SABESP no entorno dos mananciais

---

Aprimorar a análise preditiva de séries históricas de dados quali-quantitativos dos mananciais, fornecendo insumos para os estudos de planejamento

---

Ampliar o controle e a prevenção da proliferação de cianobactérias e macrófitas que causam problemas de entupimento de grades de captação de água

---

Reduzir gastos com produtos químicos no tratamento de água

---

Aumentar a segurança hídrica

---

Tabela 9 – Desafios propostos no enfrentamento à degradação dos recursos hídricos  
Extraído de: (SABESP, 2018)

Segundo os desafios descritos na Tabela 9, a ocupação do solo realizada de maneira adequada, e a preservação das matas, da fauna e dos solos em regiões de mananciais são fundamentais para a qualidade e a disponibilidade da água. A falta desses vetores ocasiona sérios problemas de saúde pública, como a formação de pontos de alagamento e deslizamento de terra, de contaminação do solo, ar e água e a proliferação de doenças por origem animal, bacteriológica e viral (SABESP, 2018).

O município de São Paulo conta com áreas inteiras de ocupação irregular, totalizando, segundo dados da Secretaria Municipal de Habitação, em 2009, 330 mil domicílios em loteamentos irregulares e 53 domicílios em conjuntos habitacionais irregulares — em que uma parcela significativa se encontra em áreas protegidas por legislação ambiental (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019a, p. 23).

Além disso, esses domicílios, por vezes, não possuem infraestrutura de saneamento oficial, favorecendo os despejos irregulares e o uso de água captada de qualidade não comprovada, tornando-se um vetor para endemias (INCT ETES SUSTENTÁVEIS, 2018).

---

**Desafio 5: Como implementar soluções de saneamento para regiões em situações precárias e/ou isoladas**

---

**Benefícios esperados**

---

Atendimento de áreas carentes de saneamento e/ou isoladas, promovendo a melhoria da qualidade de vida e da saúde da população

---

Novas soluções com menores demandas de área

---

Melhoria dos índices de cobertura rumo à universalização

---

Desenvolvimento e domínio de novas tecnologias

---

Melhoria na qualidade dos mananciais

---

Tabela 10 – Desafios propostos na implementação de soluções de saneamento em regiões precárias ou isoladas  
Extraído de: (SABESP, 2018)

A Tabela 10 apresenta os desafios enfrentados em áreas precárias ou isoladas, que exigem soluções inovadoras para se lidar com a infraestrutura de saneamento básico. A desorganização urbanizacional realizada em áreas irregulares, como encostas e fundos de vale, não permite as intervenções convencionais, como construção de redes e troncos coletores de esgoto, além de restringir a atuação de concessionárias públicas, devido a restrições legais que possam existir pela falta de regulação fundiária.

Por exemplo, regiões isoladas do município de São Paulo, como os distritos de Grajaú, Parelheiros e Marsilac, apresentam índices de crescimento populacional expressivos, com 6,22%, 7,07% e 3,83% ao ano, respectivamente (PREFEITURA DE

SÃO PAULO, 2019a, p. 25), evidenciando um constante povoamento dessas regiões; em contrapartida, o ritmo de expansão da rede de saneamento básico não é verificado para atender à demanda crescente por esses recursos.

---

**Desafio 6: Como otimizar e agilizar o processo de reparo de tubulações nas ruas**

---

**Benefícios esperados**

---

Redução do tempo de reparo e de manutenção das adutoras, redes e ramais de distribuição de água e coleta de esgoto

---

Ampliação da qualidade dos reparos e das manutenções realizados

---

Eliminação ou minimização dos impactos no abastecimento de água para a população, no trânsito e na via pública

---

Redução de perdas físicas

---

Tabela 11 – Desafios propostos para a otimização de processos de reparo de tubulações nas ruas  
Extraído de: (SABESP, 2018)

A Tabela 11 apresenta problemas relacionados à manutenção da rede de distribuição de águas são: a falta de estanqueidade de válvulas no sistema, que dificulta e atrasa os reparos, pela interferência de água; e a diversidade de materiais encontrados em um sistema tão complexo de distribuição, o que acarreta a falta de padrões adotados nas ligações.

|  |
|--|
| <b>Desafio 7: Como viabilizar a utilização de novas tecnologias para o tratamento de esgoto</b>  |
| <b>Benefícios esperados</b>  |
| Ampliação das áreas atendidas por sistemas de esgotamento sanitário, considerando as necessidades dos grandes centros urbanos e, também, de comunidades isoladas |
| Novos processos de tratamento com rotas tecnológicas emergentes  |
| Melhoria na qualidade do efluente com melhor custo-benefício   |
| Ampliação das possibilidades de ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) compactas  |
| Novas tecnologias com menores demandas de área   |
| Recuperação de recursos de maneira ambientalmente adequada   |
| Menor demanda por energia elétrica   |

Tabela 12 – Desafios propostos para a viabilização de novas tecnologias para o tratamento de esgoto  
Extraído de: (SABESP, 2018)

A Tabela 12 apresenta necessidades imediatas que devem ser observadas dado o crescimento populacional das cidades, ao qual reduz as áreas disponíveis para a construção de plantas de ETEs, sendo, assim, fundamental a inovação desses sistemas por meio de tecnologias que permitam a criação de estações compactas e distritais. Busca-se, portanto, a agregação de valor às unidades, com novos métodos que permitam, além da depuração de esgotos, a recuperação de recursos e o preparo de águas de reuso (SABESP, 2018).

|   |
|---|
| <b>Desafio 8: Como desenvolver um medidor de vazão em curva aplicado a sistemas de esgoto</b> |
| <b>Benefícios esperados</b>   |
| Medição e controle das vazões do sistema de coleta e afastamento de esgoto                    |
| Otimizar a eficiência energética dos sistemas de coleta e afastamento de esgoto               |

Tabela 13 – Desafios propostos para o desenvolvimento de um medidor de vazão de curva aplicado a sistemas de esgoto  
Extraído de: (SABESP, 2018)

Medidores de vazão em estações elevatórias de esgoto são fundamentais para a operação, o planejamento de infraestrutura e as ações de eficiência energética, tendo seus benefícios apresentados na Tabela 13. A aquisição dos referidos sensores pode demandar alto custo, visto que estes sensores possuem um valor elevado e parâmetros de operação diferentes entre as estações existentes, dada a dificuldade com a integração entre os equipamentos que muitas vezes apresentam protocolos de comunicação incompatíveis (FRITZ, 2017).

Portanto, o desenvolvimento de tecnologia própria reduz os custos de aquisição e atende especificamente aos requisitos exigidos.

### **3.2 Aplicações de sensores e atuadores como vetor de transformação do saneamento básico**

Em um contexto macroscópico, o Banco Interamericano de Desenvolvimento promoveu uma pesquisa relacionada ao uso de tecnologias e IoT no saneamento básico na América Latina e no Caribe.

Esse estudo aborda, entre outras tecnologias, o uso da internet das coisas conectada à rede de computadores em nuvem, capturando métricas de sensores em

larga escala para que sejam transmitidas e analisadas , a fim de oferecer serviços relacionados à melhoria da gestão da água distribuída (STANKOVIC, HASANBEIGI e NEFTENOV, 2020), por exemplo: (1) reduzindo os custos operacionais de construção e manutenção da infraestrutura de distribuição; (2) criando modelos com precisão histórica de dados relacionados a relatórios climáticos; (3) monitorando em tempo real a vazão e a pressão da água nos sistemas pluviais; (4) cruzando informações coletadas com bases históricas, permitindo a emissão de alertas a partir da detecção de anormalidades e prevenindo desastres, como enchentes.

Cada vez mais comuns, as aplicações de IoT para monitoramento do uso de água em residências são benéficas tanto para a população quanto para as concessionárias de serviços, pois, além de permitirem o acompanhamento direto das tarifas provenientes do uso do recurso, fornecem informações precisas deste, podendo alterar os hábitos de consumo dos moradores e detectar preventivamente problemas hidráulicos, como vazamentos, insuficiência de pressão no sistema, entre outras irregularidades na rede doméstica, como ligações clandestinas e fontes alternativas, isto é, mistura de água proveniente da concessionária local com outra de qualidade não conhecida (STANKOVIC, HASANBEIGI e NEFTENOV, 2020).

### **3.2.1 Inovações na apuração de consumo de água e esgoto, detecção e combate de ligações clandestinas**

A SABESP, desde 2018, trabalha em uma iniciativa para a instalação de hidrômetros inteligentes nas residências, exibidos na Figura 22, permitindo aos clientes atendidos o monitoramento do consumo de água diário por meio de um aplicativo para celular.

Apresentados no capítulo anterior, os desafios em inovação de apuração de consumo de água e esgoto e de detecção e combate de ligações clandestinas se beneficiam diretamente com essa iniciativa de modernização dos equipamentos domésticos para medição de entrada de água e vazão de efluentes das residências. Segundo a companhia SABESP, a instalação de dispositivos dotados de sensores trazem os seguintes benefícios para o consumidor: (1) acompanhamento diário do consumo de água por meio do aplicativo disponibilizado pela Companhia; (2) fornecimento de uma maior previsibilidade das tarifas de água e esgoto; (3) redução de desperdício de água por meio de notificações para o cliente sobre alertas de vazamentos; (4) acesso facilitado à consulta de todo o histórico de consumo (SABESP, 2021).



Figura 22 – Hidrômetros inteligentes fornecidos pela SABESP  
Extraído de: (MELO, 2020)

Até o fim de 2020, a estimativa, segundo a SABESP, é que as cidades de Barueri e Santana de Parnaíba, ambas pertencentes à RMSP, possuam em operação 2.900 pontos com hidrômetros inteligentes, ao investimento de R\$ 110,9 milhões para a aquisição dos equipamentos e a contratação do serviço de infraestrutura para conectividade desses dispositivos (BONONI, 2019).

Para as concessionárias, haverá uma maior distribuição de equipamentos com sensores sensíveis e de antenas GPS em diversos pontos dos mananciais, ou até mesmo em suas profundezas, aferindo remotamente a composição química a cada pequena variação, o que também permite a ação preventiva, aumentando a qualidade do serviço oferecido e reduzindo possíveis custos operacionais corretivos (STANKOVIC, HASANBEIGI e NEFTENOV, 2020).

### **3.2.2 Inovações na detecção e na redução de perdas de água nos sistemas de adução e distribuição**

Algumas concessionárias de saneamento básico brasileiras possuem projetos em andamento para a instalação de sistemas inteligentes de monitoramento e distribuição de água tratada. Entre os benefícios almejados pelos novos equipamentos, as operadoras buscam “subsidiar ao cliente alertas de problemas internos, evitando, assim, possíveis vazamentos, falhas do medidor, situações de desabastecimento, entre outras funcionalidades que podem contribuir para o abastecimento e o consumo inteligente” (COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO, 2020).

Essa capacidade de monitoramento pode ser atingida com o emprego de uma série de equipamentos munidos de sensores e de capacidade de transmissão de dados coletados às redes LPWAN, como sensores ultrassônicos para monitoramento de água e de esgoto.

Inicialmente, o serviço [de telemetria] funciona na cidade de Morungaba, a 110 km da capital [de São Paulo]. Por meio do sistema [...], sensores conectados ao dispositivo de medição e conexão em rede SigFox, a Sabesp pode observar dados de consumo do município. Isso acontece por meio de dados como: vazão da água, volume e pressão, turbidez, quantidade de cloro, flúor, insumos para tratamento. (MEDEIROS, 2021)

A BRK Ambiental, companhia privada de saneamento básico brasileira, em parceria com a fabricante alemã de hidrômetros, a Diehl, desde 2017 realiza projetos para a instalação de medidores inteligentes residenciais em sua área de cobertura, com 370.000 equipamentos instalados na primeira fase de testes — um deles exibido na Figura 23 —, além de planejar a instalação de sistemas avançados para monitoramento de infraestrutura (DIEHL METERING, 2021).



Figura 23 – Hidrômetro com módulo de radiotransmissão instalado  
Extraído de: (DIEHL METERING, 2021)

### 3.2.3 Inovações no processo de reparo de tubulações nas ruas

Manutenções em sistemas sanitários são essenciais para a garantia do bom funcionamento, da qualidade do serviço prestado à população e da manutenção do meio ambiente, do manejo adequado de efluentes.

A SABESP, por meio do convênio realizado juntamente ao município de São Paulo, ao estado de São Paulo e à ARSESP<sup>25</sup>, possui como uma de suas obrigações

---

<sup>25</sup> A ARSESP (Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo) é uma autarquia, criada pela Lei Complementar nº 1.025/2007 e vinculada à Secretaria de Estado de Saneamento e Energia, com a competência de “regular, controlar e fiscalizar, no âmbito do Estado [de São Paulo], os

e encargos o custeio de despesas relativas à operação e à manutenção do sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município de São Paulo (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2019b, p. 21). A demonstração financeira da SABESP, em 2018, apresentou a aplicação de 68% da receita líquida da companhia a custos e despesas, de finalidade administrativa, comercial e de construção, de modo que os gastos com manutenção e reparos são contabilizados ao resultado quando incorridos (SABESP, 2019).

De maneira geral, define-se manutenção como atividades realizadas direta ou indiretamente em equipamentos e em instalações com o objetivo de assegurar o correto funcionamento, mediante a parâmetros estabelecidos de eficácia, eficiência e segurança, considerando o ambiente ao qual estes estão inseridos (FIDALGO, ROBBA, *et al.*, 2007).

Essas manutenções podem ocorrer de maneira preventiva, realizadas de maneira programada, por especificação determinada pelo fabricante do equipamento ou da instalação, sendo executada periodicamente, ou corretiva, decorrente de um evento ocorrido, tornando comprometida a operação de maneira parcial ou total (FIDALGO, ROBBA, *et al.*, 2007).

O monitoramento em tempo real das instalações de saneamento é essencial para a garantia da saúde do sistema, minimizando o custo de manutenções corretivas e mitigando os riscos de eventos causados pela deterioração dos equipamentos ou por condições climáticas adversas.

Pesquisas aplicadas à predição e ao monitoramento em tempo real com infraestrutura inteligente e internet das coisas apresentam o protótipo de Modelos de

---

serviços de gás canalizado e de saneamento básico de titularidade estadual, preservadas as competências e prerrogativas municipais.” (SÃO PAULO, 2007)

Informações de Ativos de Esgotos Inteligentes, *Smart Sewer Asset Information Model* (SSAIM), incorporando padrões de formatos de dados abertos a sensores distribuídos, permitindo o monitoramento em tempo real de redes de esgotos (EDMONDSON, CERNY, *et al.*, 2018).

O protótipo SSAIM mapeou uma área de 5km<sup>2</sup> de rede de esgotos na cidade de Newcastle, no Reino Unido, inicialmente com a sistematização de estruturas de dados para armazenar as informações relacionadas aos componentes físicos, processos, recursos, controles e atores que formam a rede de esgotos da área analisada.

Entre os componentes físicos mapeados no modelo, citam-se as informações relacionadas à localização geográfica dos equipamentos, aos parâmetros disponibilizados pelo fabricante, ao estado de conservação, às datas de intervenções realizadas, entre outras informações relevantes de redes de encanamentos, bueiros, câmaras de acesso, válvulas, junções, tanques de retenção, bombas, interceptadores, estações de bombeamento, bem como outros equipamentos (EDMONDSON, CERNY, *et al.*, 2018).

No modelo criado, entre os eventos relacionados ao serviço de tratamento de esgoto mapeados, citam-se: as falhas de sistemas e de equipamentos, as intervenções realizadas em propriedades pela companhia de saneamento, as intervenções realizadas pelo próprio cliente, as solicitações e reclamações realizadas pelos clientes (EDMONDSON, CERNY, *et al.*, 2018).

As informações, uma vez mapeadas, foram categorizadas em estruturas de dados padronizadas, segundo especificação de dados abertos, e referenciadas por

meio das normas ISO 10303-11<sup>26</sup>, 10303-21<sup>27</sup> e 10303-28<sup>28</sup>, em que foram reunidos todos os parâmetros relacionados a modelos computacionais tridimensionais criados em representação à área monitorada.

Os modelos virtuais foram disponibilizados sistemicamente em conjunção às informações coletadas dos equipamentos formadores da rede de esgotamento, como exibido na Figura 24, que apresenta a modelagem tridimensional de um bueiro e todas as especificações descritas anteriormente.

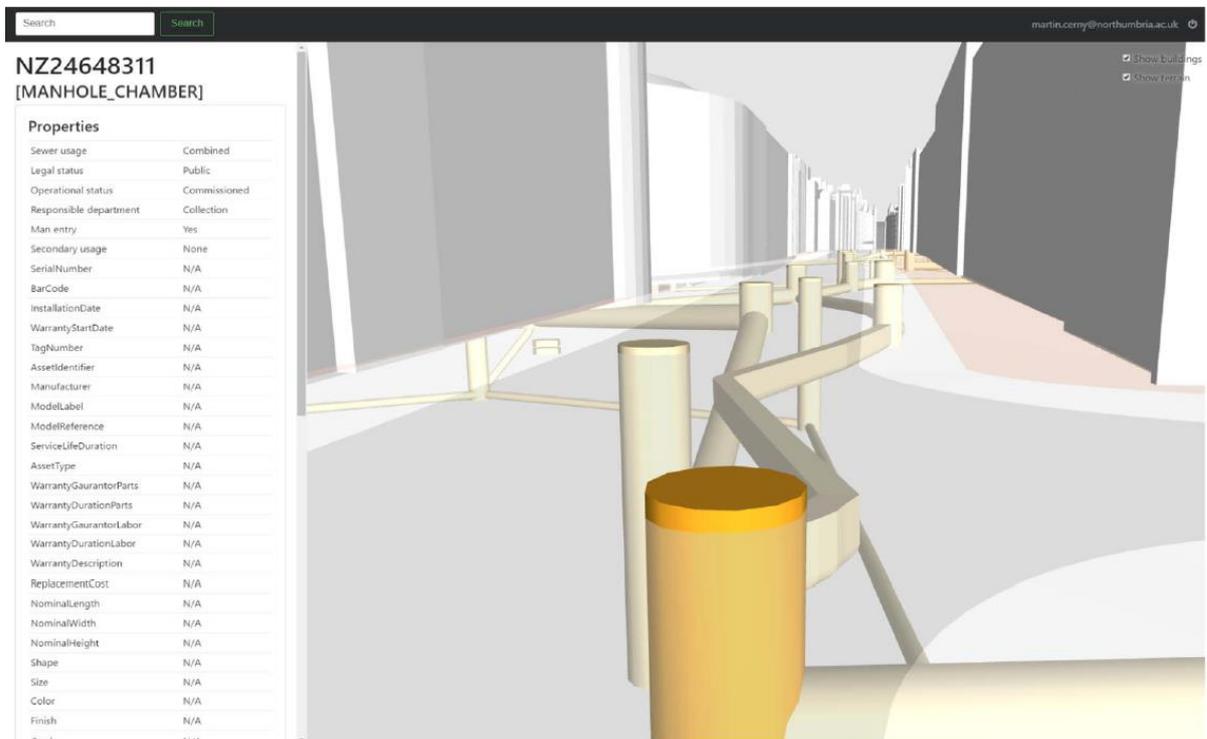


Figura 24 – Modelagem de uma caixa de bueiro destacada entre o sistema de esgoto mapeado e o conjunto de propriedades catalogadas no sistema SSAIM, para consulta em tempo real  
Extraído de: (EDMONDSON, CERNY, *et al.*, 2018)

A Figura 25 exhibe um encanamento também modelado computacionalmente, representando um segmento da rede subterrânea de esgoto em adição a recursos de

<sup>26</sup> (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2004)

<sup>27</sup> (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016)

<sup>28</sup> (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007)

monitoramento de vídeo em tempo real, exibindo de maneira detalhada a situação na qual o segmento em específico se apresenta. Dados de monitoramento da integração de sensores que a realizam a telemetria desses equipamentos também são apresentados, aferindo parâmetros de qualidade e segurança do curso hídrico.

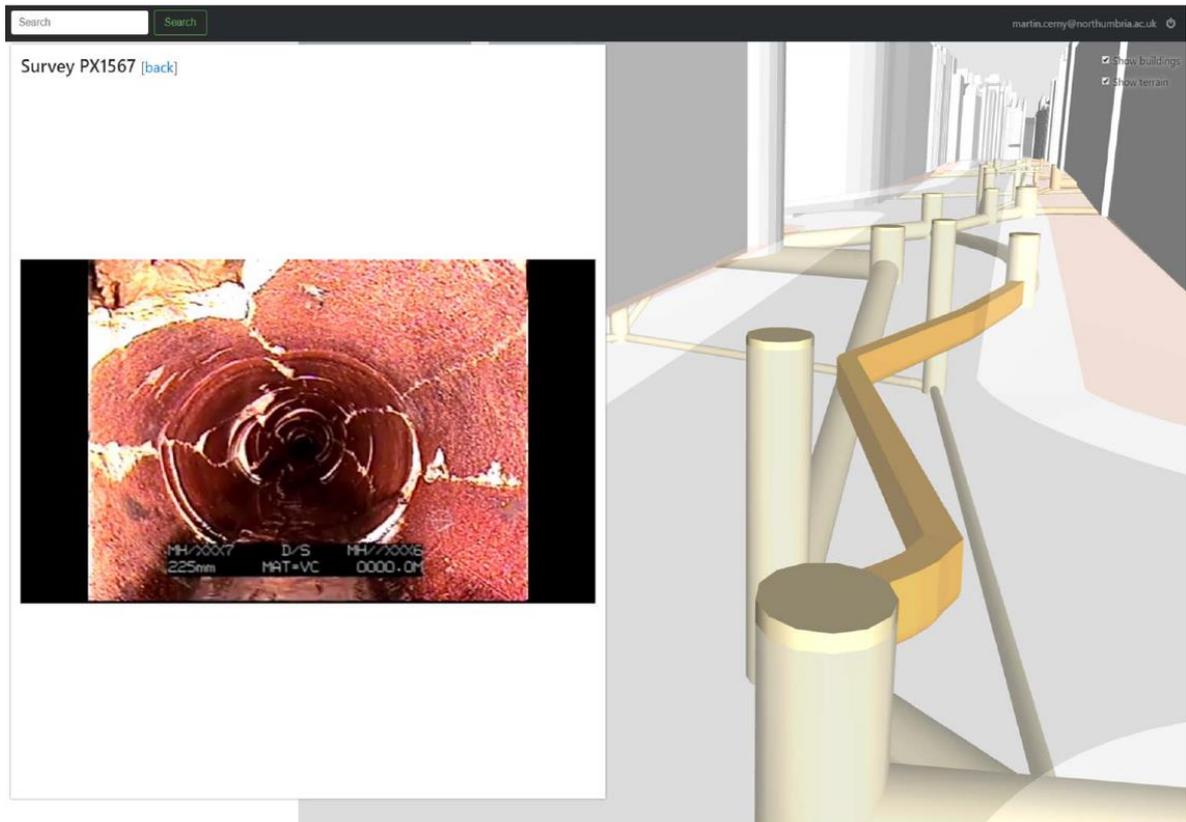


Figura 25 – Modelagem de um encanamento subterrâneo equipado com um sistema de monitoramento de vídeo em tempo real  
 Extraído de: (EDMONDSON, CERNY, *et al.*, 2018)

A Figura 26 exibe informações adicionais mapeadas de um equipamento em específico do segmento da rede de esgotos, como documentos técnicos relacionados ao tipo de equipamento instalado, relatórios de manutenção, a identificação de outros equipamentos relacionados que se conectam a ele e um completo registro de eventos relacionados ao equipamento em si, como detecção de vazamentos ou transbordamentos coletados por meio de sensores instalados.

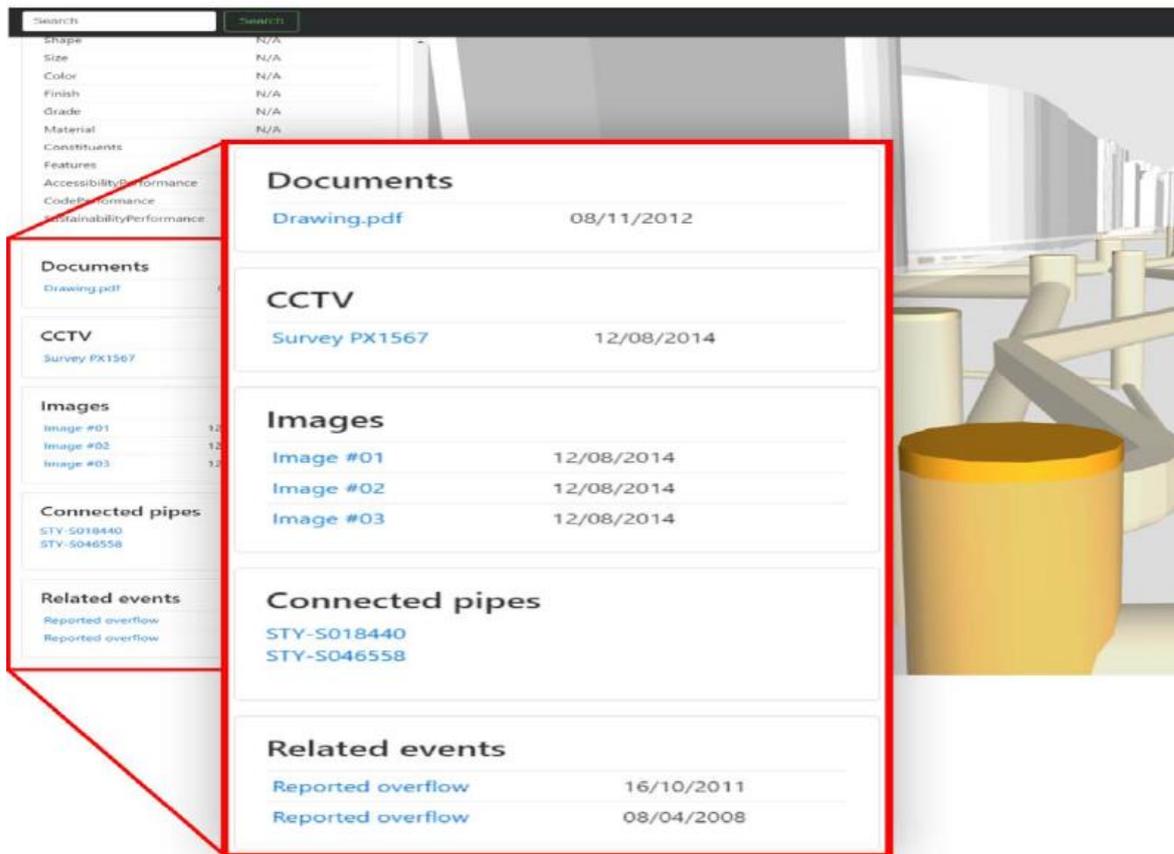


Figura 26 – Modelagem de uma caixa de bueiro com informações de monitoramento, eventos detectados pelos sistemas de apoio, desenhos técnicos e relatórios operacionais  
 Extraído de: (EDMONDSON, CERNY, *et al.*, 2018)

Todas as informações coletadas dos equipamentos mapeados são distribuídas em sistemas de monitoramento para as concessionárias e as operadoras responsáveis pela manutenção desses sistemas, a fim de que possuam insumos preditivos e constantemente atualizados com novos dados de cada recurso empregado e situação ocorrida na complexa rede de esgotos, aumentando a efetividade do sistema, e diminuindo o risco decorrente da degradação e de danos físicos sofridos na estrutura.

Os autores responsáveis pela elaboração do SSAIM (EDMONDSON, CERNY, *et al.*, 2018) destacam também a capacidade da instalação de alertas vinculados a sensores em segmentos cruciais da rede de esgotos, a fim de notificar a decorrência de possíveis enchentes, preparando os agentes civis e sanitários para mobilização,

de modo que, junto à população, possam mitigar os riscos causados por fortes chuvas, por transbordamentos do sistema pluvial ou por eventos correlatos.

### 3.2.4 Inovações no monitoramento ambiental dos corpos hídricos

O monitoramento das águas é uma prática que busca a obtenção de dados relacionados às características físicas e biológicas da água, decorrentes de atividades humanas e de fenômenos naturais.

Segundo dados do Portal da Qualidade das Águas, vinculado à ANA, os instrumentos usados nas atividades de coleta são: baldes, amostradores em profundidade — conforme exibido na Figura 27 —, corda, caixas térmicas, veículos marítimos, motores de popa (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2021). Ainda sendo necessários: a delimitação do espaço a ser amostrado e o preparo de uma estrutura logística para encaminhamento do material coletado a laboratórios, a fim de que seja realizada a análise.



Figura 27 – Garrafa de Van Dorn para a coleta de amostra de água  
Extraído de: (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2021)

Tecnologias inovadoras podem auxiliar no monitoramento de água em diversas regiões, remotamente, por meio de dispositivos que integrem sensores capazes de monitorar os mesmos aspectos físicos e químicos da água, realizando a transmissão desses dados para centros de análise, com baixa intervenção humana na região monitorada.

Equipamentos com alta conectividade, com operação em diversos protocolos de transferência de dados e integração para a computação em nuvem, e com capacidade de sensoriamento — tal como exibido na Figura 28 — são peças fundamentais para a análise remota de grandes bacias hídricas. Governos e empresas privadas realizam iniciativas para o desenvolvimento de alta tecnologia de conectividade e sensoriamento, como o Departamento de Águas de Taipei, China, que investe na pesquisa e no uso de sistemas de análise remota de água, permitindo a coleta dos parâmetros e a sua transmissão por diversos canais de comunicação, como as redes LTE e LoRa (WOMASTER GROUP, 2021).



Figura 28 – Dispositivo de monitoramento externo para cidades inteligentes  
Extraído de: (WOMASTER GROUP, 2021)

Outras iniciativas na fabricação de dispositivos integrados para a análise da qualidade da água são desenvolvidas pela empresa espanhola Libelium, conforme

exibido na Figura 29, com soluções de internet das coisas para diversas áreas, como cidades inteligentes, agricultura inteligente, bem como monitoramento e análise da qualidade de água de rios, lagos e mares. Entre as capacidades de monitoramento, esses dispositivos de aproximadamente um quilograma monitoram o pH, o potencial de redução, o oxigênio dissolvido, a condutividade e a temperatura da água. Além disso, permitem a instalação de sensores específicos para análise química, como cálculo de bromo, lítio, magnésio, prata, sódio, entre outros elementos (LIBELIUM COMUNICACIONES, 2021). Sendo a conectividade o parâmetro essencial para os sensores de internet das coisas, esses dispositivos possuem conectividade com redes GSM e com diversos protocolos LPWAN previamente apresentados.



Figura 29 – Dispositivo para monitoramento remoto da qualidade da água *in situ*  
Extraído de: (LIBELIUM COMUNICACIONES, 2021)

A despeito de serem equipamentos completos em sua especificação, tanto a solução oferecida pela Libelium quanto a oferecida pelo grupo WoMaster tratam-se de tecnologia importada, portanto de acesso dificultado em cenários onde a escassez de recursos financeiros inviabiliza a aquisição desses equipamentos.

Por outro lado, a acessibilidade oferecida pela evolução dos microcomputadores e sensores permite a criação de protótipos que podem viabilizar projetos de monitoramento ambiental em larga escala. Leal (2019) demonstra que protótipos podem ser criados a partir de componentes adquiridos separadamente — como o experimento apresentado na Figura 30 — que possuam as capacidades de aferição de parâmetros da água, como: o monitoramento de pH, da temperatura, de umidade, da condutividade elétrica, entre outros, os quais podem ser adquiridos, segundo pesquisa, a um quarto do valor de similares encontrados no mercado, demonstrando, pois, que a utilização desse tipo de tecnologia pode se tornar acessível, desde que haja capacitação técnica para a montagem dos protótipos e para a sua validação e aperfeiçoamento, a fim de que sejam aplicados em experimentos evolutivos, desde pequenas comunidades até regiões inteiras.

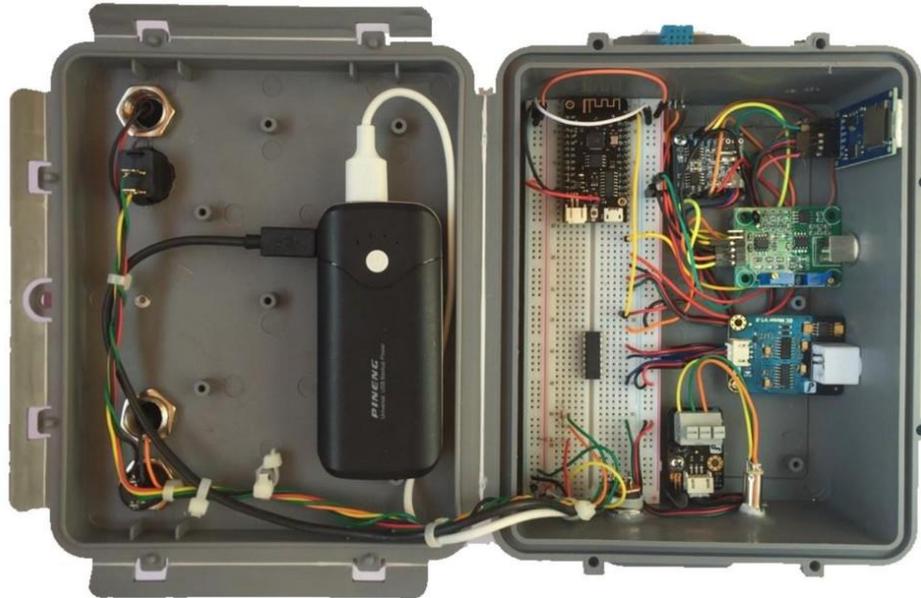


Figura 30 – Protótipo de sistema para monitoramento da qualidade da água  
Extraído de: (SANTOS, 2019)

Como demonstrado no início deste capítulo, com a aferição de parâmetros de água por agências de estado, de forma manual e com pouca participação social dos moradores da região, percebe-se que existem alternativas viáveis e que podem ser implantadas a partir da união de pesquisadores com a população.

Com o processo atual de coleta de dados percebe-se a viabilidade desse sistema, visto que, todos os equipamentos utilizados pelos pesquisados operam de forma manual no que concerne o armazenamento dos dados coletados, nesse modelo, erros de escrita são comuns, podendo inviabilizar toda a pesquisa.

[...]

Portanto, avaliou-se positivamente o desenvolvimento do protótipo, [...] dando ao usuário maior segurança na coleta dos dados, sendo essas coletas automáticas, elimina-se a possibilidade de erros nas anotações. (LEAL, 2019, p. 64)

De maneira concorrente ao investimento tecnológico de empresas e governos, medidas socioeducativas também engajam a população a participar do desenvolvimento de tecnologia para ser usada nos desafios de seu dia a dia em sua comunidade.

Projetos multidisciplinares envolvendo robótica, eletrônica e computação, como a iniciativa social e acadêmica ZL Vórtice<sup>29</sup>, criada e coordenada por pesquisadores de universidades brasileiras, construindo um laborário livre e comunitário envolvendo populações que necessitam de pronta ação em questões ambientais, por habitarem próximas a zonas de inundação de rios e córregos, são uma boa alternativa (ZL VÓRTICE, 2021).

Entre as iniciativas apresentadas, tratando-se da dimensão da internet das coisas aplicada ao saneamento básico, realizam-se oficinas para a criação de equipamentos para monitoramento, conforme exibido na Figura 31 e para análise da qualidade da água pelos próprios moradores do bairro Jardim Pantanal, na cidade de São Paulo, conforme exibido na Figura 32, “criando uma cultura de preservação ambiental, em comunidades que têm relações conflituosas com os rios” (BASTOS, 2020).

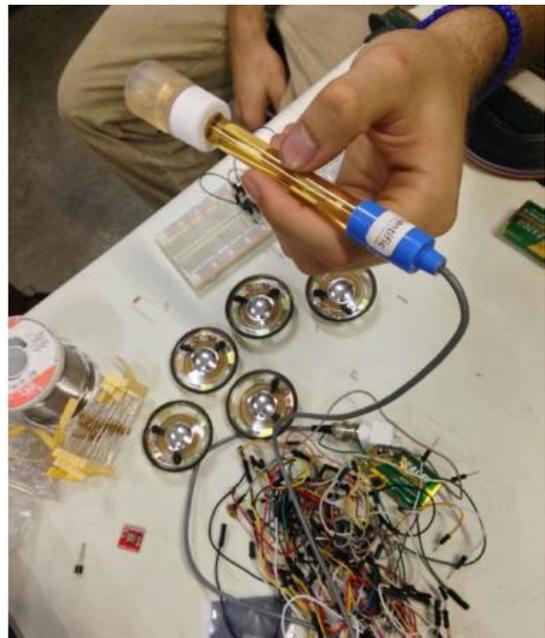


Figura 31 – Protótipos de instrumentos para monitoramento da qualidade da água construídos em oficinas realizadas pela comunidade e por pesquisadores.  
Extraído de: (BASTOS, 2020)

<sup>29</sup> O ZL Vórtice é um projeto que busca investigar práticas urbanas experimentais junto com as comunidades locais, voltadas para a urbanização, a preservação do meio ambiente e a inovações tecnológicas que possam ser realizadas pelos próprios moradores. (ZL VÓRTICE, 2021)



Figura 32 – Monitoramento *in situ* da qualidade de água em canal de polder e alagados, realizado pela comunidade e por pesquisadores.  
Extraído de: (BASTOS, 2020)

Os equipamentos construídos pela comunidade, com apoio de técnicos voluntários e de docentes, além de economicamente viáveis, capturam os parâmetros essenciais da qualidade física e química de córregos, rios e alagados, como parâmetros de pressão, temperatura, potencial hidrogênico, de oxidação, condutividade elétrica, além da indicação de poluentes por resíduos químicos depositados por descarte irregular de resíduos domésticos ou de material industrial.

Todas as inovações construídas, quando trazidas à realidade de comunidades, tornando os indivíduos agentes ativos de fiscalização, fortalecem a fiscalização dos serviços de saneamento oferecidos e tornam mais estreita e harmônica a relação entre a sociedade e a prodigiosa natureza.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O relacionamento entre a sociedade e a natureza sobre a qualidade desses recursos, da preservação e das evoluções apresentadas em séculos na higiene sanitária de diferentes povos, em diferentes épocas, trazem-nos a reflexão de que há sempre oportunidades de evolução, de modo a equalizar o bem-estar das populações nas questões sanitárias e de convivência, preservando os espaços cedidos pela natureza, dado o desenvolvimento e o progresso contínuo das comunidades.

As grandes revoluções no passado criaram desafios para serem solucionadas a respeito do aumento das populações, especialmente após a urbanização das regiões, e a qualidade de vida que tais populações enfrentariam, uma vez que a disponibilização de recursos primordiais, como água e tratamento dos despejos gerados, deveria ser discutida.

Cidades como Paris e Londres, pioneiras nas primeiras décadas do século XIX pela industrialização, ao sofrerem o drama da falta de sanitização pública, voltaram os seus esforços na criação de infraestrutura urbana, a fim de levar à população a segurança sanitária necessária para evitar o colapso social e econômico de regiões inteiras.

O Brasil, como instituição nacional, entretanto, ao longo das décadas do século XX e do tempo presente, por mudanças de políticas governamentais e econômicas, ainda não equalizou o problema sanitário de sua população, apesar de uma grande diversidade de planos executados, em diversos períodos, por diversos agentes políticos, estatais ou privados.

Verificou-se, ainda, que regiões brasileiras inteiras apresentam baixos números de cobertura de saneamento básico, especialmente no que tange à coleta e ao tratamento de esgotos, o que, como se verificou, degrada a saúde da população,

impactando em outros indicadores sociais, como o econômico e o educacional, ao privar essas comunidades do acesso à água tratada e ao tratamento adequado do esgoto sanitário.

O cenário ainda se encontra desafiador em relação à universalização da cobertura sanitária da população brasileira. O poder público, por meio da determinação de novos marcos legislativos, e as parcerias público-privadas, como são algumas das companhias sanitárias atualmente, até o presente momento não apresentam resultados suficientemente satisfatórios para solucionar o *déficit* sanitário de populações, especialmente em regiões periféricas, afastadas, de difícil geografia ou com problemas socioeconômicos, como, por exemplo, a falta de regulação de terrenos.

Conforme fora apresentado, durante os séculos XIX e XX, diversas foram as mudanças de políticas públicas relacionadas ao saneamento básico, partindo da não existência de órgãos regulatórios e administrativos, passando por encampamentos de companhias privadas, até chegar a sucessivas criações, fusões e renomeações de departamentos e secretarias públicas, em todas as esferas governamentais, demonstrando, pelo poder público desse período, a falta de continuidade de projetos, processos e estrutura organizacional fundamentais para a elaboração e para a execução de grandes obras de infraestrutura sanitária.

O efeito direto da falta de continuidade no planejamento desses agentes é retratado no alarmante índice de esgoto coletado e tratado, levando populações inteiras à insalubridade e ao risco epidemiológico, conforme apresentado anteriormente na pesquisa, responsáveis por doenças que acometem a saúde da população que trabalha e de jovens e crianças que frequentam as escolas, além de causarem prejuízos econômicos ao Estado em diversas áreas das políticas públicas.

Paralelamente, os setores de tecnologia atravessam frequentes transformações desde a segunda metade do século XIX e, com o advento dos semicondutores, da robótica e da computação distribuída, novos paradigmas surgiram para a solução da sociedade moderna, que demanda produtos e serviços em escala, com qualidade, competitividade e cada vez mais sustentáveis, uma vez que o meio ambiente se torna o alvo de diversas discussões na atualidade.

O estado da arte da tecnologia das primeiras décadas do século XXI permite o desenvolvimento e a aplicação de iniciativas de larga escala, de maneira acessível e por poucos profissionais capacitados, uma vez que a difusão desse conhecimento e o barateamento dos custos de tecnologias de processamento e armazenamento de dados removem as barreiras técnicas e financeiras, as quais restringiam a prototipação de inventos ou limitavam sua realização apenas por centros de pesquisa e desenvolvimento de universidades e grandes companhias privadas.

Ainda se fazem necessárias políticas de incentivo do Estado brasileiro para a adoção e o uso de ferramentas tecnológicas, como os *hardwares* e os *softwares* livres<sup>30</sup>, para ensino e desenvolvimento, a exemplo de sensores, sistemas operacionais, protocolos e linguagens de programação, que, por seu caráter não comercial, oferecem um custo acessível de aquisição e de acesso para a criação de projetos pedagógicos e de pesquisas, para jovens e adultos, com o intuito de inserção dessas tecnologias, para o ensino, e como vetores de desenvolvimento econômico e científico.

Finalmente, os estudos e as aplicações de tecnologias em áreas da saúde e da infraestrutura urbana são cada vez mais evidentes, reunindo pesquisadores e

---

<sup>30</sup> *Hardwares* e *softwares* livres, resumidamente, são iniciativas de suporte e promoção para o estudo, a distribuição, o acesso e o desenvolvimento de dispositivos e programas computacionais sem a necessidade da celebração de contratos a termos de uso ou de licenças de uso comercial (FREE SOFTWARE FOUNDATION, 2021) (THE FREE AND OPEN SOURCE SILICON FOUNDATION, 2021).

profissionais da tecnologia da informação e das ciências humanas e sociais para a elaboração de projetos inovadores no campo sanitário.

Finalmente, ainda que a princípio as iniciativas que foram apontadas previamente sejam realizadas em pequena escala, como fases de projetos-piloto ou de prototipação, imediatamente renderão benefícios às populações que estejam envolvidas em tais projetos, como a disseminação do conhecimento de caráter social e técnico ao cidadão para o acompanhamento e a fiscalização de obras de infraestrutura realizadas pelo poder público em sua região.

Com o engajamento social do cidadão nas políticas públicas, aferindo o trabalho técnico e participando do desenvolvimento local de sua comunidade, espera-se que haja uma efetiva cobrança por serviços sanitários de qualidade, como o fornecimento de água com qualidade comprovada, e que os despejos sejam transportados de maneira confiável até as zonas de tratamento, inibindo práticas de despejos irregulares e de contaminação de corpos hídricos e solos, bem como, finalmente, incitando a manipulação adequada do lixo gerado, fazendo o descarte, a coleta e o despejo em locais corretos.

#### 4.1 Trabalhos futuros

Novas pesquisas no campo de tecnologias inovadoras para o saneamento básico poderiam ser desenvolvidas com o objetivo de construção de equipamentos nacionais de alta tecnologia de sensores, computação embarcada e protocolos de comunicação, para o monitoramento de corpos hídricos, que, em seus requisitos, atendessem às especificidades de regiões de alta complexidade populacional e ambiental.

Esses protótipos podem fazer uso de protocolos de comunicação modernos e, diferentemente do que ocorre com o uso das redes de transmissão convencionais, como o GSM, tendo o intuito de alcançar grandes coberturas em área, o que será fornecido por tecnologias de comunicação sem fio do tipo LPWAN, por processadores de baixo custo e por múltiplos sensores confiáveis e de fácil configuração — tecnologias essas apresentadas pela internet das coisas.

A rede de sensores poderá realizar o controle ininterrupto da qualidade da distribuição e do despejo sanitário de uma grande área urbana delimitada, por meio da obtenção de dados precisos pelos equipamentos instalados, com o auxílio das autoridades locais, quando necessário, e evidenciar a hipótese de compatibilidade, ou não, com os parâmetros de qualidade exigidos por órgãos públicos de saúde, de infraestrutura e do meio ambiente.

Outra alternativa de pesquisa futura é a construção de protótipos para o mapeamento e o monitoramento dos recursos de infraestrutura urbana de distribuição de águas e de esgotos, além da elaboração de formas de operacionalização destes equipamentos, como a construção de sistemas que colem, processem e exibam os parâmetros coletados pela rede de sensores, pois, na pesquisa realizada, é evidenciado que os prejuízos ocorridos na distribuição causam perdas financeiras e

danos ecológicos devido ao mau funcionamento — por vezes, pela complexa manutenção necessária — das coletoras, dos bueiros e das galerias pluviais, seja pelo tempo de construção, por danos causados em descarte irregular de lixo ou por outros fatores humanos.

Finalmente, a justificativa para essas pesquisas que envolvam tecnologia de internet das coisas é um horizonte ainda pouco explorado pelos pesquisadores brasileiros, apesar da vasta oferta tecnológica, em termos de dispositivos e de sistemas, sobre um tema tão sensível e que se tornará vital para o futuro tecnológico do país.

## REFERÊNCIAS

- ABELLÁN, Javier. Water supply and sanitation services in modern Europe: developments in 19th-20th centuries. Universidad de Salamanca. Salamanca, p. 17. 2017.
- ADELANTADO, F et al. Understanding the Limits of LoRaWAN. IEEE Communications Magazine, Catalunha, v. 55, p. 34-40, setembro 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Região Metropolitana de São Paulo. ATLAS - Abastecimento Urbano de Água, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=24>>. Acesso em: 30 outubro 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Portal da Qualidade das Águas - Rede Nacional - Redes de Monitoramento, 2021. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/rede-nacional-rede-monitoramento.aspx>>. Acesso em: 14 junho 2021.
- ALMEIDA, Wanderly J. M. D. Abastecimento de água à população urbana: uma avaliação do PLANASA.
- BARRUCHO, Luis. 'Pula no esgoto e nada acontece': Brasil tem mais de 300 mil internações por ano por doenças causadas por falta de saneamento. BBC News Brasil, 2020. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-52067247>>. Acesso em: 14 setembro 2020.
- BASTOS, Marcus V. Monitoramento do rio e da qualidade da água. Laboratório do Programa de Tecnologias da Inteligência e Design Digital. São Paulo. 2020.
- BIER, Amaury G.; PAULANI, Leda M.; MESSENERG, Roberto P. A crise do saneamento no Brasil: reforma tributária, uma falsa resposta. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro, p. 161-196. 1988.
- BONONI, Beatriz. Após testes, Sabesp instalará hidrômetros inteligentes na região. Folha de Alphaville, 2019. Disponível em: <<https://www.folhadealphaville.com.br/cidades/apos-testes-sabesp-instalara-hidrometros-inteligentes-na-regiao>>. Acesso em: 14 janeiro 2021.
- BOWES, Claire. O médico que descobriu como a cólera se espalha (e impediu a doença de causar mais mortes). BBC News Brazil, 2020. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-53376925>>. Acesso em: 14 novembro 2020.

BRASIL. Lei nº 3.353, de 13 de maio de 1888, 1888. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lim/LIM3353.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lim/LIM3353.htm)>. Acesso em: 14 outubro 2020.

BRASIL. Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil, 1891. Disponível

em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao91.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao91.htm)>. Acesso em: 15 outubro 2020.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1967, 1967. Disponível

em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao67.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao67.htm)>. Acesso em: 14 novembro 2020.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, 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: 16 novembro 2020.

BRASIL. Decreto nº 99.684, de 8 de novembro de 1990, 1990. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d99684.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d99684.htm)>. Acesso em: 15 setembro 2020.

BRASIL. Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, 1990. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8036consol.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8036consol.htm)>. Acesso em: 14 setembro 2020.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 2007. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm)>. Acesso em: 15 outubro 2020.

BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010, 2010. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm)>. Acesso em: 14 setembro 2020.

BRASIL. Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014, 2014. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/lei/l12965.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l12965.htm)>. Acesso em: 14 novembro 2020.

BRASIL. Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, 2015. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2015/Lei/L13089.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13089.htm)>. Acesso em: 14 novembro 2020.

BRASIL. Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, 2017. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2017/Lei/L13529compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13529compilado.htm)>. Acesso em: 14 novembro 2020.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, 2020. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm)>. Acesso em: 04 janeiro 2021.

BRITTO, Ana L. A gestão do saneamento no Brasil: desafios e perspectivas seis anos após a promulgação da Lei 11.455/2007. Revista eletrônica de estudos urbanos e regionais, Rio de Janeiro, p. 8-18, dezembro 2012. ISSN 2177-2312.

CAMPOS, Cristina D. A promoção e a produção das redes de águas e esgotos na cidade de São Paulo, 1875 - 1892. Museu Paulista. São Paulo, p. 189-232. 2005.

CARDOSO-SILVA, Sheila et al. Compartimentalização e qualidade da água: o caso da represa Billings. Bioikos, Campinas, v. 28, p. 31-43, janeiro 2014. ISSN 0102-9568.

CHU, Jennifer. MIT engineers configure RFID tags to work as sensors. MIT News | Massachusetts Institute of Technology, 2018. Disponível em:

<<https://news.mit.edu/2018/mit-engineers-configure-rfid-tags-to-work-as-sensors-0613>>. Acesso em: 25 outubro 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO.

Empresas de Saneamento em São Paulo. Fundação Patrimônio Histórico da Energia e Saneamento. São Paulo, p. 32. 2008.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. História do saneamento em São Paulo. Revista DAE, São Paulo, v. LXII, n. Especial, p. 83, julho 2014.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. Companhia instalará medidores de água inteligentes em grandes consumidores. CORSAN, 2020.

Disponível em: <<https://www.corsan.com.br/co-instalara-medidores-de-agua-inteligentes-em-grandes-consumidores>>. Acesso em: 14 março 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Investimentos em saneamento com recursos do fundo de garantia do tempo de serviço (FGTS): uma agenda de simplificação e otimização. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, p. 64. 2017.

CUNHA, Ana M. D. A Saúde na Coleção de Leis e Decretos do Estado de São Paulo (1889-1910). Cadernos de História da Ciência, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 145-186, dezembro 2007. ISSN 1809-7634.

CUSTÓDIO, Vanderli. São Paulo: das bicas e chafarizes à Companhia Cantareira de Águas e Esgotos (1554-1875). Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro. Rio de Janeiro, p. 51-76. 2013.

DIEHL METERING. BRK Ambiental: fixed network, 2021. Disponível em: <<https://www.diehl.com/metering/en/customer-cases/brk-ambiental-fixed-network/>>. Acesso em: 14 junho 2021.

DIRETORIA GERAL DE ESTATÍSTICA DO IMPÉRIO. Recenseamento do Brazil em 1872. Diretoria Geral de Estatística do Império. Rio de Janeiro. 1874.

DRAEGER, Nerissa. Scaling up and down. Semiconductor engineering, 2019. Disponível em: <<https://semiengineering.com/scaling-up-and-down/>>. Acesso em: 25 dezembro 2021.

EDMONDSON, Vikki et al. A smart sewer asset information model to enable an 'Internet of Things' for operational wastewater management. Automation in Construction, Amsterdam, 18 março 2018. 193-205.

EGAS, Antonio C. B. Galeria dos Presidentes de S. Paulo. Período Monárquico 1822 - 1889. Seção de Obras do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 935. 1926.

ENCICLOPÉDIA ITAÚ CULTURAL DE ARTE E CULTURA BRASILEIRAS. Carregadores de Água. Enciclopédia Itaú Cultural, 2016. Disponível em: <<https://enciclopedia.itaucultural.org.br/obra11250/carregadores-de-agua>>. Acesso em: 14 maio 2020.

FIDALGO, João E. et al. Aumento da receita das transmissoras através da otimização da manutenção. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 6. 2007.

FLEIUSS, Henrique. Litografia representativa do cotidiano dos escravos "tigres". Semana Ilustrada, Rio de Janeiro, janeiro 1861. 4.

FREE SOFTWARE FOUNDATION. GNU Operating System. What is Free Software?, 2021. Disponível em: <<https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>>. Acesso em: 14 setembro 2021.

FREIRE, André L. Saneamento básico: titularidade, regulação e descentralização. Enciclopédia Jurídica da PUCSP, 2020. Disponível em: <<https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/379/edicao-1/saneamento-basico:-titularidade,-regulacao-e-descentralizacao>>. Acesso em: 15 novembro 2020.

FRITZ, Rodrigo T. Melhoria da automação dos processos de uma estação de tratamento de esgoto. Orientador: Armando Carlos de Pina Filho. TCC (Graduação) Curso de Engenharia de Controle e Automação, Escola Politécnica do Rio de

Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:

<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10021683.pdf>>. Acesso em: 22 janeiro 2021.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Plano Nacional de Saneamento - PLANASA - aspectos básicos. Conjuntura Econômica, Rio de Janeiro, v. 28, março 1974.

Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rce/issue/view/3910>>.

GANDY, Matthew. The Paris sewers and the rationalization of urban space.

Department of Geography, University College London. Londres, p. 22. 1998.

GOMES, Sueli D. C. Uma inserção dos migrantes nordestinos em São Paulo: o comércio de retalhos. Imaginário, São Paulo, v. 12, n. 13, p. 143-169, 2006.

GOOGLE. Google Maps, 2020. Disponível em:

<[https://www.google.com/maps/place/Jardim+Esmeralda,+S%C3%A3o+Paulo+-+SP/@-23.5779597,-](https://www.google.com/maps/place/Jardim+Esmeralda,+S%C3%A3o+Paulo+-+SP/@-23.5779597,-46.7593293,15.25z/data=!4m5!3m4!1s0x94ce55dc9e154011:0x1aac17101f411001!8m2!3d-23.5755751!4d-46.7569174)

[46.7593293,15.25z/data=!4m5!3m4!1s0x94ce55dc9e154011:0x1aac17101f411001!8m2!3d-23.5755751!4d-46.7569174](https://www.google.com/maps/place/Jardim+Esmeralda,+S%C3%A3o+Paulo+-+SP/@-23.5779597,-46.7593293,15.25z/data=!4m5!3m4!1s0x94ce55dc9e154011:0x1aac17101f411001!8m2!3d-23.5755751!4d-46.7569174)>. Acesso em: 14 outubro 2020.

INCT ETES SUSTENTÁVEIS. Falta de saneamento ainda é causa de endemias e epidemias no Brasil. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em ETES Sustentáveis, 2018. Disponível em: <<https://etes-sustentaveis.org/falta-de-saneamento-ainda-e-causa-de-endemias-e-epidemias-no-brasil/>>. Acesso em: 17 janeiro 2021.

INGENU. Ingenu - Dedicated Machine Connectivity for IoT. Ingenu, 2021. Disponível em: <<https://www.ingenu.com/>>. Acesso em: 20 janeiro 2021.

INSTITUTO ANTÔNIO HOUAISS DE LEXICOGRAFIA. Pequeno dicionário Houaiss da língua portuguesa. 1ª. ed.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contagem da População | IBGE, 2007. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9065-contagem-da-populacao.html?edicao=10189&t=resultados>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, total e segundo as categorias de doenças, Brasília, 2017. Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/898>>. Acesso em: 09 setembro 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da População | IBGE, 2019. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=25272&t=resultados>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento 2020. Instituto Trata Brasil, 2020. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/estudos/estudos-itb/itb/ranking-do-saneamento-2020>>. Acesso em: 12 dezembro 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10303-11:2004 Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual. ISO - International Organization for Standardization, 2004. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/38047.html>>. Acesso em: 14 março 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10303-28:2007 Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 28: Implementation methods: XML representations of EXPRESS schemas and data, using XML schemas. ISO - International Organization for Standardization, 2007. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/40646.html>>. Acesso em: 14 março 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10303-21:2016 Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure. ISO - International Organization for Standardization, 2016. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/63141.html>>. Acesso em: 14 março 2021.

ITOW, Joanne. Will higher production costs hamper iot growth? Semiconductor engineering, 2017. Disponível em: <<https://semiengineering.com/will-higher-production-costs-hamper-iot-growth/>>. Acesso em: 25 dezembro 2021.

LEAL, Wilmar B. Modelagem de um sistema multiparâmetro para monitoramento da qualidade da água utilizando internet das coisas. Universidade Federal do Tocantins. Palmas, p. 71. 2019.

LIBELIUM COMUNICACIONES. Plug&Sense! Waspote Encapsulated version easily deploy IoT networks, 2021. Disponível em: <<https://www.libelium.com/iot-products/plug-sense/#smart-water>>. Acesso em: 14 junho 2021.

LORA ALLIANCE. What is LoRaWAN Specification - LoRa Alliance. LoRaWAN, 2021. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/about-lorawan/>>. Acesso em: 14 janeiro 2021.

MAGALHÃES, Regina; VENDRAMINI, Annelise. Os impactos da quarta revolução industrial. *GV Executivo*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 40-43, janeiro 2018. ISSN 1806-8979.

MASSARA, Vanessa M. Desenvolvimento da infraestrutura para abastecimento de água na capital paulista durante o século XX. *Cadernos de História da Ciência*, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 46-69, junho 2015. ISSN 1809-7634.

MEDEIROS, Henrique. Sabesp começa testes de IoT com medição de consumo da rede. *Mobile Time*, 2021. Disponível em:

<<https://www.mobiletime.com.br/noticias/16/03/2021/sabesp-comeca-testes-de-iot-com-medicao-de-consumo-da-rede/>>. Acesso em: 14 abril 2021.

MELO, Suely. IoT no Saneamento: a novidade da Sabesp que reduz perdas, contribui com o meio ambiente e melhora o relacionamento com o cliente.

Associação dos Engenheiros da SABESP, 2020. Disponível em:

<<https://www.aesabesp.org.br/2020/03/25/iot-no-saneamento-a-novidade-da-sabesp-que-reduz-perdas-contribui-com-o-meio-ambiente-e-melhora-o-relacionamento-com-o-cliente/>>. Acesso em: 14 janeiro 2021.

MENDONÇA, Sergio R. Artigo: História dos Esgotos de Paris, por Sérgio Rolim Mendonça. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

Disponível em: <<http://abes-dn.org.br/?p=30089>>. Acesso em: 14 julho 2021.

MINERVA, Roberto; BIRU, Abyi; ROTONDI, Domenico. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). *IEEE Internet of Things*, 27 Maio 2015. Disponível em:

<[https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition\\_Internet\\_of\\_Things\\_Revision1\\_27MAY15.pdf](https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf)>. Acesso em: 14 outubro 2019.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília, p. 190. 2019.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. PLANSAB — Plano Nacional de Saneamento Básico. Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília, p. 239. 2019.

MITCHELL, Piers D. *Sanitation, Latrines and Intestinal Parasites in Past Populations*. 1ª. ed.

MOTA, Camilla V. Por que quase metade do Brasil não tem acesso a rede de esgoto. *BBC News Brasil*, 2019. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-49399768>>. Acesso em: 22 março 2020.

MURTHA, Ney A.; CASTRO, José E.; HELLER, Léo. Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil.

Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. XVIII, julho 2015. ISSN 1809-4422.

O ESTADO DE S.PAULO. Progressos e indefinições no saneamento. O Estado de S.Paulo, 2021. Disponível em: <<https://opinioao.estadao.com.br/noticias/notas-e-informacoes,progressos-e-indefinicoes-no-saneamento,70003587119>>. Acesso em: 10 março 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. O Direito Humano à Água e Saneamento. Organização das Nações Unidas, 2010. Disponível em:

<[https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf#page=1&zoom=auto,-39,890](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf#page=1&zoom=auto,-39,890)>. Acesso em: 19 novembro 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all. UN - Sustainable Development Goals, 2020a. Disponível em:

<<https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>>. Acesso em: 14 novembro 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Goal 9: Build resilient infrastructure, promote sustainable industrialization and foster innovation. UN - Sustainable Development Goals, 2020b. Disponível em:

<<https://www.un.org/sustainabledevelopment/infrastructure-industrialization/>>. Acesso em: 14 novembro 2020.

PIRES, Irvando M. O Atual Estágio do Planasa. Revista DAE, São Paulo, n. 112, julho 1977.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Decreto nº 57.776 de 7 de julho de 2017, 2017.

Disponível em: <<http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto-57776-de-07-de-julho-de-2017>>. Acesso em: 12 novembro 2020.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo Volume I. Prefeitura de São Paulo. São Paulo, p. 232. 2019a.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo. Prefeitura de São Paulo. São Paulo, p. 122. 2019b.

REZENDE, Sonaly C.; HELLER, Léo. O saneamento no Brasil: políticas e interfaces. 2ª. ed.

SABESP. Tabela de Preços e Prazos de Serviço da SABESP. SABESP, 2015.

Disponível em:

<[http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp\\_doctos/cartaz\\_precos\\_2015.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/cartaz_precos_2015.pdf)>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SABESP. Pitch SABESP Soluções Inovadoras. SABESP, 2018. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/pitchsabesp/index.html>>. Acesso em: 20 janeiro 2021.

SABESP. Demonstrações Financeiras em 31 de dezembro de 2018 e 2017. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 194. 2019.

SABESP. Relação dos Municípios atendidos pela Sabesp, 2020. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/CDCF2D425ED6C4F7832575B600554CD9/\\$File/relacao\\_municipios\\_atendidosmai09.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/CDCF2D425ED6C4F7832575B600554CD9/$File/relacao_municipios_atendidosmai09.pdf)>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SABESP. Hidrômetros Inteligentes. SABESP, 2021. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=732>>. Acesso em: 15 janeiro 2021.

SACHS, Antonio C. O saneamento básico e o evolver de suas organizações em São Paulo. Revista de Administração de Empresas, Rio de Janeiro, n. 22, p. 35-42, janeiro 1982.

SANCHEZ-IBORRA, R; CANO, M-D. State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services. Sensors, Cartagena, n. 16, 2016.

SANTOS, Daniel D. Conheça o sistema de monitoramento de qualidade da água feito através da internet das coisas. Universidade Federal do Tocantins, 2019. Disponível em: <<https://ww2.uft.edu.br/index.php/ultimas-noticias/26250-monitoramento-da-qualidade-da-agua-atraves-de-iot-e-apresentado-na-unitec>>. Acesso em: 20 setembro 2021.

SÃO PAULO. Lei nº 62, de 17 de agosto de 1892, 1892. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1892/lei-62-17.08.1892.html>>. Acesso em: 22 outubro 2020.

SÃO PAULO. Lei nº 2.627 de 20 de janeiro de 1954, 1954. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1954/lei-2627-20.01.1954.html>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SÃO PAULO. Lei nº 10.058, de 07 de fevereiro de 1968, 1968a. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1968/lei-10058-07.02.1968.html>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SÃO PAULO. Lei nº 10.107, de 08 de maio de 1968, 1968b. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1968/original-lei-10107-08.05.1968.html>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SÃO PAULO. Decreto nº 52.457, de 26 de maio de 1970, 1970a. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1970/decreto-52457-26.05.1970.html>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SÃO PAULO. Decreto-Lei nº 239, de 6 de maio de 1970, 1970b. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto.lei/1970/decreto.lei-239-06.05.1970.html>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SÃO PAULO. Lei nº 119, de 29 de junho de 1973, 1973a. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1973/lei-119-29.06.1973.html>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SÃO PAULO. Lei nº 118, de 29 de junho de 1973, 1973b. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1973/lei-118-29.06.1973.html>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

SÃO PAULO. Lei Complementar nº 1.025, de 07 de dezembro de 2007, 2007. Disponível em:

<<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/2007/original-lei.complementar-1025-07.12.2007.html>>. Acesso em: 15 março 2021.

SCHWAB, Klaus. A Quarta Revolução Industrial. 1ª. ed.

SECRETARIA ESPECIAL DE COMUNICAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Prefeitura fecha ligações clandestinas em bueiros da região central. Cidade de São Paulo, 2020. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/noticia/prefeitura-fecha-ligacoes-clandestinas-em-bueiros-da-regiao-central>>. Acesso em: 18 janeiro 2021.

SIGFOX. Sigfox - The Global Communications Service Provider for the Internet of Things (IoT). Sigfox, 2021. Disponível em: <<https://www.sigfox.com/en>>. Acesso em: 14 janeiro 2021.

SIMÕES, Daniela. Saneamento básico trouxe R\$ 146 bilhões de benefício econômico em dez anos. Revista Época, 2017. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/economia/noticia/2017/05/saneamento-basico-trouxe-r-146-bilhoes-de-beneficio-economico-em-dez-anos.html>>. Acesso em: 14 abril 2020.

SMIDERLE, Juliana J. PLANASA e o novo marco legal do saneamento: semelhanças, diferenças e aprendizado. Blog do IBRE - FGV Instituto Brasileiro de Economia, 2020. Disponível em: <<https://blogdoibre.fgv.br/posts/planasa-e-o-novo->

marco-legal-do-saneamento-semelhancas-diferencas-e-aprendizado>. Acesso em: 14 dezembro 2020.

SMOLAKS, Max. Scientists Print Cheap RFID Tags On Paper. Silicon UK Tech News, 2012. Disponível em: <<https://www.silicon.co.uk/workspace/scientists-print-cheap-rfid-tags-on-paper-59911/amp>>. Acesso em: 12 novembro 2019.

SOUSA, Rafaela. Primeira Revolução Industrial. Brasil Escola, 2020a. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/primeira-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 14 novembro 2020.

SOUSA, Rafaela. Segunda Revolução Industrial. Brasil Escola, 2020b. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiag/segunda-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 14 novembro 2020.

SOUSA, Rafaela. Terceira Revolução Industrial. Brasil Escola, 2020c. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/terceira-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 14 novembro 2020.

SOUZA, Rodrigo S. História de São Paulo: represa de Guarapiranga. Laboratório de ensino e material didático da USP, 2009. Disponível em: <<https://lemad.fflch.usp.br/node/5348>>. Acesso em: 26 dezembro 2021.

STANKOVIC, Mirjana; HASANBEIGI, Ali; NEFTENOV, Nikola. Use of 4IR Technologies in Water and Sanitation in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank. [S.l.], p. 69. 2020.

THE FREE AND OPEN SOURCE SILICON FOUNDATION. The Free and Open Source Silicon Foundation. FOSSi Foundation, 2021. Disponível em: <<https://www.fossi-foundation.org/>>. Acesso em: 14 setembro 2021.

VELASCO, Clara. Mais de 50 mil casas de São Paulo jogam esgoto em córregos mesmo com rede disponível. G1, 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/mais-de-50-mil-casas-de-sao-paulo-jogam-esgoto-em-corregos-mesmo-com-rede-disponivel.ghml>>. Acesso em: 30 outubro 2020.

WEISER, Mark. The Computer for the 21st Century. Scientific American, 1991.

WHITAKER, Plínio P. O Departamento de Águas e Esgotos: o que representa e quais os resultados a se esperar de sua criação. Revista DAE, São Paulo, n. 25, julho 1954.

WIKIPÉDIA. Les égouts, service de l'assainissement - Collecteur du Boulevard Sébastopol. Wikipédia, 2008. Disponível em:

<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:PARIS\\_SOUTERRAIN\\_-](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:PARIS_SOUTERRAIN_-)

\_Les\_%C3%A9gouts,\_service\_de\_l%27assainissement\_;\_collecteur\_du\_Boulevard\_S%C3%A9bastopol.jpg>. Acesso em: 14 Novembro 2020.

WOMASTER GROUP. Smart Water Quality Monitoring with SCB1200 in Taiwan water treatment facilities, 2021. Disponível em:

<[https://www.womaster.eu/news\\_detail\\_Newsletters\\_Smart-Water-Quality-Monitoring-with-SCB1200-in-Taiwan-water-treatment-facilities.htm](https://www.womaster.eu/news_detail_Newsletters_Smart-Water-Quality-Monitoring-with-SCB1200-in-Taiwan-water-treatment-facilities.htm)>. Acesso em: 14 junho 2021.

XAVIER, Janaina S. Saneamento de Pelotas (1871-1915): o patrimônio sob o signo de modernidade e progresso. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, p. 355. 2010.

ZL VÓRTICE. ZL Vórtice intervenções urbanas - Laboratório, 2021. Disponível em:

<<https://zlvortice.wordpress.com/>>. Acesso em: 14 junho 2021.

ZUSMANN, Kate. Ancient Park of the Aqueducts. Rome.us, 2020. Disponível em:

<<https://rome.us/ancient-rome/park-of-the-aqueducts.html>>. Acesso em: 14 novembro 2020.